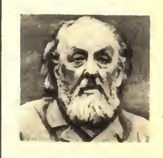
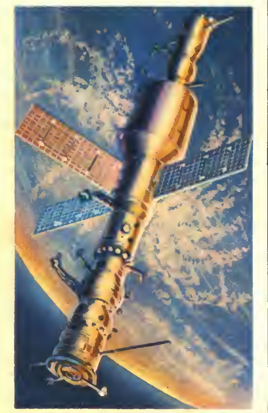
Люди науки



А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ

К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ









А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ

К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

Пособие для учащихся

МОСКВА
„ПРОСВЕЩЕНИЕ"
1980

39.6
К71

ОГЛАВЛЕНИЕ

Космодемьянский А. А.

К71 К. Э. Циолковский: Пособие для учащихся. — М.: Просвещение, 1980. — 144 с., ил. — (Люди науки).

В книге рассказано о жизни и деятельиости замечательиого русского ученого К. Э. Циолковского. Приведены интересные сведения о его работах по аэроиавтике, ракетодиииамике и космоиавтике, которые помогли осуществить еапуски искусственных спутников еемли, космических ракет и космических кораблей с человеком на борту.

К $\frac{60601-200}{103(03)-80}$ 297—80 4306021100

ББК 39.6
6Т6(09)

К ЧИТАТЕЛЮ

Эта книга предназначается для учащихся старших классов средней школы. В ней рассказывается о жизни и творческих исканиях знаменитого русского ученого-мыслителя Константина Эдуардовича Циолковского (1857—1935). Циолковский сделал ряд выдающихся открытий по экспериментальной аэродинамике, теории полета аэроплана, теории движения одноступенчатых и многоступенчатых ракет, по космонавтике и проблемам создания цельнометаллических дирижаблей, опубликовал много работ по философии, этике, языкознанию, астрономии и биологии. Первым в мире Циолковский предложил (и математически обосновал) новый вид транспорта — поезд на воздушной «подушке», указав на огромное значение этого предложения для человечества, для прогрессивного развития техники и культуры.

Циолковский — наша национальная гордость.

Автору хотелось на примере целеустремленной жизни Константина Эдуардовича проанализировать вечный вопрос для начинающих трудовую жизнь: «Делать жизнь с кого?» Жизнь К. Э. Циолковского — яркий пример самоотверженного служения любимому делу, Родине, исключительное явление в русской, советской и всемирной науке и технике.

Автор убежден, что русский народ — один из самых

талантливых в мире, и уверен (анализируя факты и события мировой науки), что

> «...может собственных Платонов,
> И быстрых разумом Ньютонов
> Российская земля рождать» [1].

Нужно только постоянно развивать в себе способность к самостоятельным занятиям, раздумьям и упражнениям, потребность к самообразованию, умение фантазировать научно. Нужно только понимать, что началу призвания предшествует пробуждение души, осознание ею, что она может сделать новое и необходимое для людей именно в этой области творческого труда. При этом следует помнить, что способности человека формируются в труде (в «деянии», как часто говорил М. Горький). От природы человек получает лишь потенциальные возможности («задатки») к освоению интеллектуальных, культурных богатств, которые выработало человечество, и к пополнению этих богатств. Важнейшим фактором становления личности является целенаправленный ежедневный труд, который необходим как для освоения известного, так и для открытия неизвестного. Подтверждением этому служат жизнь и труд гениального самородка-ученого, обосновавшего ракетную технику и предвосхитившего современные достижения в освоении космического пространства.

К. Э. Циолковский — один из любимых ученых-мыслителей автора этой работы, и хотелось бы донести до молодых читателей нашей страны величие и нравственное обаяние этого человека, которым гордится советская и мировая космонавтика.

Профессор

А. А. Космодемьянский

---

[1] *Ломоносов М. В.* Стихотворения поэта, 1954, с. 165.

Введение

КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ ЦИОЛКОВСКИЙ — ЕГО ЖИЗНЬ И РАБОТЫ ПО АЭРОНАВТИКЕ, РАКЕТНОЙ ТЕХНИКЕ И КОСМОНАВТИКЕ

Напрасно думают, что она (фантазия.— А. К.) нужна только поэту. Это глупый предрассудок. Даже в математике она нужна, даже открытие дифференциального и интегрального исчислений невозможно было бы без фантазии. Фантазия есть качество величайшей ценности.

В. И. Ленин

Мы современники величайшей научно-технической революции. Овладение процессами преобразования внутриядерной энергии, создание сверхзвуковых реактивных самолетов и ракет дальнего действия, разнообразные, порой прямо фантастические возможности быстродействующих электронных вычислительных машин, радиолокации и телеуправления невероятно ускорили научно-технический прогресс. Пробуждены и организованы такие силы промышленности и науки, о которых даже не могли мечтать в предшествующие периоды истории человеческого общества.

Достаточно указать, что человечество за последние 50 лет овладело (и освоило массовое производство) следующими научно-техническими открытиями: телевидение (черно-белое и цветное), реактивные двигатели (ракетные и воздушно-реактивные в авиации), электронные вычислительные машины (аналоговые и цифровые), электронные микроскопы, открывшие новую эру исследований в физике, биологии и медицине. В эти годы были созданы атомный реактор, атомная и водородная бомбы; межконтинентальные и зенитные управляемые ракеты с ядерными боевыми головками.

Всему миру известны пионерские работы по завоеванию космоса, осуществленные в Советском Союзе. В 1957 г. в СССР был запущен на эллиптическую орбиту

первый искусственный спутник Земли, а в 1961 г. Юрий Алексеевич Гагарин открыл эпоху пилотируемых полетов в космическом пространстве.

Найл Армстронг (США) сделал 21 июля 1969 г. первые шаги по поверхности Луны, а советские космонавты на орбитально-космических комплексах «Салют» — «Союз» достигли выдающихся успехов. Экипаж комплекса «Салют-6» — «Союз» космонавтов В. Коваленка и А. Иванченкова установил мировой рекорд продолжительности пилотируемого космического полета — 140 суток. При вручении им наград 15 ноября 1978 г. Л. И. Брежнев отметил: «Скажем прямо: товарищи Коваленок и Иванченков выполнили свой полет блестяще».

Созданы и успешно работают атомные электростанции мощностью до 2 ГВт.

В ближайшие 10—15 лет человечество научится управлять погодой на больших участках земной поверхности, многие станут свидетелями массового внедрения роботов, выполняющих однообразные утомительные операции в промышленности и сельском хозяйстве, более широкое распространение получат достижения микроэлектроники (хотя уже сейчас транзисторные приемники производятся миллионами штук) и лазерной техники.

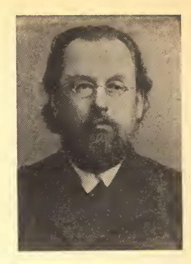
Все теперь уже привыкли к тому, что путешествие из Москвы на Дальний Восток совершается за 8—9 ч; с появлением на воздушных трассах сверхзвуковых самолетов (Ту-144), вылетая из Хабаровска в 10 ч утра, мы будем прилетать в Москву в тот же день в 8 ч утра (по местному времени), т. е. будем обгонять Землю в ее движении, обусловленном вращением.

В основе этих величайших открытий лежат в сущности простые явления природы, которые доступны пониманию каждого культурного человека. Главное содержание сделанных научно-технических открытий теперь уже проверено жизнью, и в этом состоит колоссальное могущество этих областей науки и техники и неограниченные возможности дальнейших усовершенствований, открытий и изобретений.

Крупнейшие в истории цивилизации открытия новых научно-технических фактов и законов, развития применений которых в наши дни обогащает все новые отрас-

ли науки и техники, стали возможными при концентрации усилий и творческих талантов ученых, инженеров и изобретателей всех стран.

Эта книга посвящена рассказу о жизни, научной и изобретательской деятельности знаменитого русского ученого Константина Эдуардовича Циолковского. Научные интересы Циолковского относились к весьма широкому спектру проблем: от аэродинамики до философии и социологии, от воздухоплавания и космонавтики до геолого-биологических задач, стоящих перед развивающимся человеческим обществом. Циолковский высказывал (в своих печатных работах) ряд удивительно глубоких и оригинальных мыслей, относящихся к астрономии, геофизике и биологии. В одном из вариантов автобиографии он писал: «...по моей чрезвычайной любознательности я энциклопедист... Моя натурфилософия, которую я вырабатывал в течение всей жизни и ставил выше всякой другой своей деятельности, также требовала сведений во всех отраслях знаний»[1].



К. Э. Циолковский в 1910 г.

Астрономия и вопросы строения Вселенной особенно занимали Константина Эдуардовича. «Астрономия увлекала меня потому, что я считал и считаю до сего времени не только Землю, но отчасти и Вселенную достоянием человеческого потомства»[2].

Его перу принадлежат оригинальные (но спорные) статьи по философии, языкознанию, проблемам прогрессивного переустройства общества и организации промышленности на искусственных островах-оранжереях, плавающих вокруг Солнца, где-то между орбитами Мар-

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч., т. V, с. 105 (рукопись).
[2] Там же, с. 59 (рукопись).

са и Юпитера. Эти работы Циолковского вызывают страстные дискуссии среди ученых и инженеров в наши дни.

Автор этой книги считает, что наиболее прогрессивные и жизнеспособные открытия и исследования Циолковского относятся к следующим трем направлениям:

работы по аэронавтике (сюда относятся исследования и изобретательские предложения по дирижаблю, цельнометаллическому аэроплану, летательному аппарату на воздушной подушке, а также создание первой в мире аэродинамической трубы с открытой рабочей частью и проведение работ по экспериментальной аэродинамике),

работы по ракетодинамике (это выдающийся цикл исследований и изобретений по ракетам дальнего действия и ракетам для полетов в космическом пространстве; Циолковскому принадлежит создание строгой математической теории полета одноступенчатых и многоступенчатых ракет с жидкостными реактивными двигателями),

работы по космонавтике (сюда относятся исследования прямолинейных движений ракет в гравитационном поле, приложение законов и фундаментальных достижений небесной механики к определению возможностей космических полетов в солнечной системе и подробное рассмотрение вопросов механики и физики для условий невесомости, а также тщательное обсуждение средств существования экипажа ракеты во время полета; интересными и актуальными для наших дней остаются прогнозы Циолковского о будущем реактивных приборов).

Следует подчеркнуть, что строго научная и аргументированная разработка важнейших проблем указанных трех направлений научно-технического прогресса впервые осуществлена в бессмертных работах Циолковского.

Мы в этой книге основное внимание уделяем исследованиям Циолковского, связанным с экспериментальной аэродинамикой и летательными аппаратами. Дирижабль, аэроплан, ракета были в центре многолетних творческих исканий Константина Эдуардовича.

При изучении творческой биографии Циолковского поражает великая и всепоглощающая страсть исследователя, искателя новых путей прогресса науки и техники. Эта одержимость поисками нового, еще человечеству неизвестного, поддерживала Константина Эдуардовича

в самые тяжелые моменты его жизни. Он писал: «Жизнь несла мне много горестей, и только душа, кипящая радостным миром идей, помогла мне их перенести».

Работы Циолковского по ракетодинамике написаны с широким русским размахом и необычайным взлетом эвристической фантазии.

Первые оригинальные вычисления, относящиеся к движению ракет, были сделаны Циолковским в конце XIX столетия (в 1897 г.) и опубликованы в 1903 г. Он первый понял и строго доказал преимущества реактивных двигателей для больших скоростей полета. Из математических расчетов Циолковского следует, что для достижения заатмосферных высот и осуществления космических путешествий ракета является самым многообещающим техническим решением.

В рассмотренных задачах теории реактивного движения выводы Циолковского логически безупречны и обоснованы подробными вычислениями. «Без вычислений я никогда не обходился. Они направляли мою мысль и мечту», — писал в одной из своих статей по ракетодинамике Константин Эдуардович.

Циолковский сделал выдающееся открытие в области аэронавтики. Он первый выдвинул проект цельнометаллического дирижабля с тонкой металлической гофрированной оболочкой, изменяемого объема и искусственным подогревом газа; предложенный им цельнометаллический аэроплан (моноплан) с свободнонесущим крылом, хорошо обтекаемым корпусом, имеющим очертания «застывшей парящей птицы», составил «эпоху в развитии авиационной техники».

Необходимость строго научно определять летные характеристики дирижабля и аэроплана, естественно, привела проницательного Циолковского к созданию аэродинамической трубы (первой в мире — с открытой рабочей частью) и постановке большой серии экспериментов с телами различной формы. Эти исследования положили начало «современной экспериментальной аэродинамике».

Результаты исследований, относящихся к обоснованию теории реактивного движения, являются наиболее важными и фундаментальными для современной ракетной техники и космонавтики. И неудивительно, что именно эти работы пользуются особым вниманием и



«Восток» — советская трехступенчатая ракета-носитель. Эта ракета 12.IV.1961 г. вывела на орбиту первый в мире космический корабль, пилотируемый летчиком-космонавтом Ю. А. Гагариным.

советской, и мировой научно-технической общественности.

Когда Циолковский создавал новую науку, определяющую законы движений ракет, и набрасывал эскизы первых конструкций для исследования безграничных мировых пространств реактивными приборами, многие считали реактивные двигатели и ракетную технику делом бесперспективным и ничтожным по своему практическому значению, а ракеты — пригодными лишь для праздничных и высокоторжественных фейерверков и иллюминаций.

Но великий человек, владея объективными методами науки, предвидит (прогнозирует) дальнейшее научно-техническое развитие общества. Плодотворные идеи Циолковского реализуются на наших глазах в виде разнообразных конструкций ракет дальнего действия, реактивных управляемых снарядов для противовоздушной обороны, космических кораблей и все более совершенных реактивных сверхзвуковых самолетов.

4 октября 1957 г. человечество вступило в новую эру — эру пристального и систематического изучения космического пространства. В этот день был запущен на орбиту первый в мире советский искусственный спутник Земли. Впервые в истории человечества была

достигнута *первая космическая скорость* полета, приблизительно равная 8 км/с. Вместе со спутником вышла на орбиту последняя ступень межконтинентальной баллистической ракеты, которая была использована в качестве ракеты-носителя. 2 января 1959 г. советская наука и техника одержали новую замечательную победу: в СССР был осуществлен первый космический полет к Луне, последняя ступень ракеты-носителя с многочисленными приборами достигла *второй космической скорости,* равной 11,2 км/с. Теорию полета многоступенчатых ракет начал своими исследованиями К. Э. Циолковский, опубликовавший в 1929 г. в Калуге замечательную работу «Космические ракетные поезда».

В конце XIX и начале XX в. работами Константина Эдуардовича Циолковского и Ивана Всеволодовича Мещерского были заложены основы новых наук — *ракетодинамики и механики тел переменной массы.* Динамика прямолинейных движений ракет дальнего действия с жидкостным реактивным двигателем была детально разработана Циолковским. Мещерский в своих трудах, опубликованных в 1897 и 1904 гг., дал основные уравнения динамики точки переменной массы. Большое значение для развития ракетной техники и космонавтики имеют работы Ф. А. Цандера, В. П. Глушко, М. К. Тихонравова и Ю. В. Кондратюка, опубликованные в 1924—1955 гг. в различных научно-технических сборниках и журналах. Историю развития ракетной техники изложил профессор Н. А. Рынин в своем девятитомном энциклопедическом труде «Межпланетные сообщения».

Выдающийся советский конструктор С. П. Королев в 1940 г. создал реактивный самолет с жидкостным двигателем, и на нем были осуществлены первые полеты. Советские пилоты И. Полунин, Н. Храмов и Е. Савицкий первыми в мире выполнили фигуры высшего пилотажа и мастерски освоили групповой пилотаж на скоростных турбореактивных самолетах. Максимальные скорости современных реактивных истребителей значительно превосходят скорость звука.

Вторая половина XX в. является эпохой бурного развития реактивной авиации, ракетной техники и космонавтики. Советский Союз стоит во главе прогресса современного ракстостроения. Наша страна имеет раке-



Ю. А. Гагарин и С. П. Королев.

ты всех классов и назначений. Мы первыми создали и успешно испытали в 1957 г. межконтинентальную баллистическую ракету. В нашей стране начиная с 1950 г. ракеты используются для исследований верхних слоев атмосферы. Метеорологические ракеты, созданные в СССР, запускались в течение Международного геофизического года (VII. 1957—XII. 1958) в различных районах страны, а также в Арктике и в Антарктике.

В Советском Союзе проводятся систематические исследования космического пространства. С научными целями запускаются спутники серии «Космос», спутни-

ки «Интеркосмос», орбитальные станции «Салют». Спутники «Молния», например, решили задачу о телевизионных передачах в самые отдаленные районы Средней Азии, Сибири и Дальнего Востока. Советская космонавтика становится важнейшим звеном социалистического народного хозяйства.

Работы К. Э. Циолковского по аэронавтике, ракетодинамике и теории межпланетных сообщений были *первыми* серьезными изысканиями в мировой научно-технической литературе. В этих исследованиях математические формулы и расчеты не затеняют глубоких и ясных идей, сформулированных оригинально и четко. Прошло более 80 лет с тех пор, когда Циолковский осуществил программу работ по экспериментальной аэродинамике и создал теорию полета одноступенчатой ракеты с жидкостным реактивным двигателем (компоненты топлива: окислитель — жидкий кислород, горючее — жидкий водород), и современное развитие науки и техники лишь подтверждает мысли и дела (он сам проводил аэродинамические эксперименты и сам строил модели дирижаблей) гениального Циолковского.

Следует подчеркнуть, что, работая над созданием ракет, Циолковский имел в виду сугубо мирные применения этих летательных аппаратов. В большом количестве публикаций (более 140) у него нет ни одного слова о военных аспектах использования ракет дальнего действия [1].

Строгий и беспощадный судья — время — лишь выявляет и подчеркивает грандиозность замыслов, своеобразие творчества и высокую мудрость проникновения в сущность новых закономерностей явлений природы и техники, которые свойственны этим произведениям Константина Эдуардовича Циолковского. Его труды помогают осуществлять новые дерзания ученых и инженеров Страны Советов. Наша Родина может гордиться своим знаменитым ученым, подлинным украшением человеческого рода, зачинателем новых напра́влений в науке и промышленности.

---

[1] Вот что писал Циолковский в редакцию газеты «Биржевые ведомости» 12.V 1905 г.: «Работая над реактивными приборами, я имел мирные и высокие цели: завоевать Вселенную для блага человечества, завоевать пространство и энергию, испускаемую Солнцем».

Глава I.

ПЕРВЫЕ ШАГИ В НАУКЕ

Я учился, творя...

К. Э. Циолковский

Константин Эдуардович Циолковский — выдающийся русский ученый, инженер-исследователь огромной трудоспособности и настойчивости, человек большого доброго сердца. Широта и богатство творческой фантазии соединились у него с логической последовательностью и математической точностью суждений. Это был подлинный новатор в науке.

Уже в конце жизни (в 1932 г.) в одном из писем[1] Циолковский так характеризовал свою научно-техническую деятельность: «*Я революционер в науке и технике* и очень бы страдал, если бы мне не дали возможности, например, работать над стратопланом или конструкцией атома. Нельзя требовать от меня, чтобы я сосредоточился исключительно на дирижабле. *Мной олицетворяется революционный дух науки и техники*».

Константин Эдуардович Циолковский родился 17 сентября 1857 г. в селе Ижевском Спасского уезда Рязанской губернии в семье лесничего Эдуарда Игнатьевича Циолковского. О своих родителях Циолковский писал: «Отец всегда был холоден, сдержан. Среди знакомых он слыл умным человеком и оратором. Среди чиновников — красным и нетерпимым по своей иде-

[1] Письмо В. А. Зарзару от 28 апреля 1932 г. (курсив мой. — *А. К.*). — Собр. соч., т. V (рукопись).

альной честности... У него была страсть к изобретательству и строительству. Меня еще не было на свете, когда он придумал и устроил молотилку. Увы, неудачно! Старшие братья рассказывали, что он строил с ними модели домов и дворцов. Всякий физический труд отец в нас поощрял, как и вообще самодеятельность. Мы почти всегда все делали сами. Мать была совершенно другого характера — натура сангвиническая, горячка, хохотунья, насмешница и даровитая. В отце преобладал характер, сила воли, в матери — талантливость»[1].



Костя Циолковский в 1862 г.

Первые годы детства Константина Эдуардовича были счастливыми. Он рос живым, смышленым ребенком — предприимчивым и впечатлительным. Летом мальчик строил с товарищами в лесу шалаши, любил лазить на заборы, крыши и деревья. Много бегал, играл в мяч, лапту, городки. Часто запускал змея и отправлял ввысь по нитке «почту» — коробочку с тараканом. Зимой с увлечением катался на коньках.

Циолковскому было восемь лет, когда мать подарила ему крошечный воздушный шар (аэростат), выдутый из коллодиума и наполненный водородом. Будущий создатель теории цельнометаллического дирижабля с удовольствием занимался этой игрушкой. Вспоминая об этих годах детства, Циолковский писал: «Я страстно любил читать и читал все, что можно было достать... Любил мечтать и даже платил младшему брату за то, что он слушал мои бредни. Мы были маленькие, и мне хотелось, чтобы и дома, и люди, и животные — все тоже было маленькое. Потом я мечтал о физической силе. Я высоко прыгал, взбирался, как кошка, на шесты, по

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 17.

веревкам. *Мечтал о полном отсутствии силы тяжести»* (курсив мой. — *А. К.*)[1].

На десятом году жизни — в начале зимы — Циолковский, катаясь на санках, простудился и заболел скарлатиной. Болезнь была тяжелой, и вследствие ее осложнения мальчик почти совершенно потерял слух. Глухота не позволила продолжать учебу в школе. «Глухота делает мою биографию малоинтересной, — пишет позднее Циолковский, — ибо лишает меня общения с людьми, наблюдения и заимствования. Моя биография бедна лицами и столкновениями»[2]. С 10 до 14 лет жизнь Циолковского была «самым грустным, самым темным временем... Я стараюсь восстановить его в памяти, но ничего сейчас не могу вспомнить. Нечем помянуть это время»[3].

С 14 лет Константин Эдуардович начал заниматься самостоятельно, пользуясь небольшой библиотекой своего отца, в которой были книги по естественным наукам и по математике. Тогда же в нем пробуждается страсть к изобретательству. Он строит воздушные шары из тонкой папиросной бумаги, делает маленький токарный станок и конструирует коляску, которая должна была двигаться при помощи ветра. Модель коляски прекрасно удалась и двигалась на крыше дома по доске, даже против ветра. «Проблески серьезного умственного сознания, — пишет Циолковский об этом периоде жизни, — появились при чтении. Так, лет четырнадцати я вздумал почитать арифметику, и мне показалось все там совершенно ясным и понятным. С этого времени я понял, что книги — вещь немудреная и вполне мне доступная. Я стал разбирать с любопытством и пониманием некоторые отцовские книги по естественным и математическим наукам. И вот меня увлекает астролябия, измерение расстояния до недоступных предметов, снятие планов, определение высот. И я устраиваю астролябию — угломер. С помощью нее, не выходя из дома, определяю расстояние до пожарной каланчи. Нахожу 400 аршин[4]. Иду и проверяю. Оказывается, верно. *С это-*

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 19.

[2] Там же, с. 20.

[3] Там же, с. 23.

[4] Неметрическая русская единица длины, 1 аршин = 711,2 мм (*прим. ред.*).

го момента я поверил теоретическому знанию» (курсив мой. — *А. К.*)[1].

Выдающиеся способности, склонность к самостоятельной работе и несомненный талант изобретателя заставили родителей К. Э. Циолковского задуматься над его будущей профессией и дальнейшим образованием. Константину Эдуардовичу было 16 лет, когда отец решил отправить его в Москву.

Исследователь творчества К. Э. Циолковского Сергей Иванович Самойлович (1891—1974) пишет об этом периоде жизни ученого следующее: «Эдуард Игнатьевич (отец К. Э. Циолковского), заметив большие изобретательские наклонности сына, решил дать ему техническое образование и снарядил в Москву для поступления в техническое училище, которое готовило ремесленников. Это было в 1873 г. Но к этому времени техническое училище преобразовали в высшее учебное заведение (известное нам как МВТУ), чего не знал отец»[2]. Константин Эдуардович не мог, конечно, поступить в Высшее техническое училище и решил заниматься самообразованием.

Из дома Циолковский получал 10—15 руб. в месяц. Питался одним черным хлебом, не имел даже картошки и чая. Зато покупал книги, реторты, ртуть, серную кислоту и прочее для различнейших опытов и самодельных приборов. «Я помню, — пишет Циолковский в своей биографии, — что, кроме воды и черного хлеба, у меня тогда ничего не было. Каждые три дня я ходил в булочную и покупал там на 9 копеек хлеба. Таким образом, я проживал в месяц 90 копеек... Все же я был счастлив своими идеями, и черный хлеб меня нисколько не огорчал»[3].

Кроме опытов по физике и химии, Циолковский много читал, он тщательно изучал курсы начальной и высшей математики, аналитической геометрии, высшей алгебры. В автобиографии Константин Эдуардович пишет: «...17 лет, по книгам, я уже прошел курс дифференциального и интегрального исчисления и решал задачи по аналитической механике, не имея о ней никакого

---

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 24.
[2] *Самойлович С. И.* Гражданин Вселенной. Калуга, 1969, с. 10.
[3] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 26.

понятия. И решил, как потом оказалось, верно»[1]. Часто, разбирая какую-нибудь теорему, Циолковский старался сам найти доказательство. Это ему нравилось, хотя и удавалось не всегда.

В эти годы зарождается у Циолковского мысль о завоевании человеком мировых пространств. Был момент, когда ему показалось, что можно подняться в космическое пространство, используя свойства центробежной силы[2]. Механизм придуманного Циолковским прибора состоял из закрытой камеры или ящика, в котором вибрировали два повернутых вверх маятника с массивными шарами на концах. Шары двигались по дугам окружностей, а центробежная сила шаров должна была, по мысли юноши, поднимать кабину и нести ее в межпланетное пространство.

«Я был так взволнован, даже потрясен, что не спал всю ночь — бродил по Москве — и все думал о великих следствиях моего открытия. Но уже к утру я убедился в ложности моего изобретения. Разочарование было также сильно, как и очарование. Эта ночь оставила след на всю мою жизнь; через 30 лет я еще вижу иногда во сне, что поднимаюсь к звездам на моей машине и чувствую такой же восторг, как в ту незапамятную ночь»[3].

Необходимо отметить, что к занятиям по высшей математике, механике, физике, химии Циолковский шел от своих изобретательских предложений. Так, изучение аэродинамики он начал для обоснования аэродинамического расчета дирижабля, органическую химию подробно штудировал в поисках наиболее калорийных топлив для реактивных двигателей, а его исследования по астрономическим вопросам обусловлены постоянным вниманием к освоению мировых пространств и межпланетным путешествиям. В одной из своих работ он пишет, что *«мысль о сообщении с мировым пространством не оставляла меня никогда* (курсив мой. — *А. К.*). Она побудила меня также заниматься высшей математикой». Таким образом, на общенаучный цикл дисциплин (математика, механика, физика, химия) К. Э. Циол-

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч., т. V, с. 88 (рукопись).

[2] Центробежная сила равна по модулю центростремительной силе, а направлена противоположно ей.

[3] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 26.

ковский смотрел как на необходимый инструментарий ученого при конкретных исследованиях технических проблем. Вот некоторые вопросы, особенно занимавшие молодого Циолковского.

«Нельзя ли практически воспользоваться энергией движения Земли? Тогда же я нашел ответ: нельзя.

Нельзя ли устроить поезд вокруг экватора, в котором не было бы тяжести от центробежной силы? Ответил сам себе отрицательно: нельзя. Этому помешает сопротивление воздуха и многое другое.

Нельзя ли строить металлические аэростаты, не пропускающие газа и вечно носящиеся в воздухе? Ответил: можно.

Нельзя ли эксплуатировать в паровых машинах высокого давления мятый пар? Ответил так же, что можно»[1].

Обращает внимание крайняя независимость и самостоятельность юноши. Он сам составил программу своих теоретических занятий и необходимых опытов. Работая систематически в библиотеке, он широко пользовался известными в XIX в. учебниками по механике, физике, химии и математике, написанными выдающимися русскими учеными — деятелями высшей школы. Так, после изучения курса физики средней школы Циолковский тщательно проработал курс наблюдательной физики профессора Петербургского университета Ф. Ф. Петрушевского, а по химии он подробно конспектировал знаменитую книгу профессора Д. И. Менделеева «Основы химии». Учился Циолковский совершенно самостоятельно. «Учителей у меня не было. Меня можно считать самоучкой чистой крови», — писал Константин Эдуардович профессору Н. А. Рынину в 1926 г.

Странный вид имел Циолковский в эту пору своей жизни. «Благодаря главным образом кислотам я тогда ходил в штанах с желтыми пятнами и дырами. Мальчики на улице замечали мне — что это, мыши что ли изъели ваши брюки? — Затем носил длинные волосы, просто оттого, что некогда было их стричь. ...Что я читал в Москве и чем увлекался? — писал в автобиографии Циолковский. — *Прежде всего точными науками*... Известный публицист Писарев заставлял меня дрожать

---

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 25.

от радости и счастья... Из беллетристических произведений наибольшее впечатление производили на меня романы и рассказы Тургенева, в особенности его «Отцы и дети»[1].

Учась в Москве, Циолковский вел переписку с отцом: «был счастлив своими мечтами и никогда не жаловался». Он брал в публичных библиотеках книги и журналы: «Помню механику Вейсбаха и Брашмана, ньютоновские «Принципы» и другие. Из журналов за все годы перечитал: «Современник», «Дело», «Отечественные записки». Эти журналы имели на меня громадное влияние»[2].

Кто-то из знакомых семьи Циолковских, будучи в Москве, встретил Константина на улице и был поражен его утомленным и истощенным видом. «Отец пригласил меня «под благовидным предлогом» приехать к семье... Дома обрадовались, только изумились моей черноте. Очень просто — я «съел» вес свой жир»[3]. Результатом постоянного недоедания была сильная физическая слабость и расстройство зрения. Именно с этих пор Циолковский начал носить очки.

Три года прожил Циолковский в Москве, а затем, вернувшись домой к отцу, стал давать частные уроки по математике и физике плохо успевающим гимназистам. Несомненные педагогические способности и хорошие отзывы об этих частных уроках решили вопрос о выборе профессии. Мы убеждены, что успехи молодого Циолковского как репетитора объяснялись тем вынужденным (из-за глухоты) методом приобретения знаний, который обусловливает быстрое развитие самостоятельного мышления. Говоря современным педагогическим языком, Константин Эдуардович прошел идеальную школу проблемного обучения. Эта школа была тяжелой и напряженной, так как направляющих указаний учителя не было. Часто не было и хороших учебников. В неопубликованной автобиографической рукописи Циолковского, хранящейся в архиве АН СССР, можно прочесть: «...Учителей у меня совсем не было, *а потому мне приходилось больше создавать и творить, чем вос-*

---

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 27.
[2] Там же.
[3] Там же.

принимать и усваивать. Указаний, помощи ниоткуда не было, непонятного в книгах было много, а разъяснять приходилось все самому. Одним словом, творческий элемент, *элемент саморазвития, самобытности преобладал.* Я, так сказать, всю жизнь учился мыслить, преодолевать трудности, решать вопросы и задачи. Многие науки создавались мной, за неимением книг и учителей, прямо самостоятельно»[1].

Осенью 1879 г. Константин Эдуардович сдал экстерном экзамен на звание учителя народного училища, а в январе 1880 г. он был назначен на должность учителя арифметики и геометрии в Боровское уездное училище Калужской губернии[2].

По рекомендации жителей Боровска Циолковский «попал на хлеба к одному вдовцу с дочерью, жившему на окраине города», Е. Н. Соколову. Ему сдали две комнаты «со столом из супа и каши». Дочь Соколова Варя была ровесницей Циолковского (моложе его на два месяца). Ее характер, трудолюбие пришлись по душе Константину Эдуардовичу, и вскоре Циолковский на ней женился. «Венчаться мы ходили за 4 версты пешком, не наряжались. В церковь никого не пускали. Вернулись — и никто о нашем браке ничего не знал... Помню, в день венчания купил у соседа токарный станок и резал стекло для электрических машин. Все же про свадьбу как-то пронюхали музыканты. Насилу их выпроводили. Напился только венчавший поп. И то угощал его не я, а хозяин»[3].

В своей квартире в Боровске Циолковский устроил маленькую лабораторию. У него в доме сверкали электрические молнии, гремели громы, звонили колокольчики, загорались огни, вертелись колеса и блистали иллюминации. «Я предлагал желающим попробовать ложкой невидимого варенья. Соблазнившиеся угощением получали электрический удар. Посетители любовались и дивились на электрического осьминога, который хватал всякого своими лапами за нос или за палец, и

[1] Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 1 (курсив мой. — *А. К.*).

[2] «Предписанием г. попечителя Московского учебного округа от 24 января 1880 года за № 630 определен исправляющим должность учителя арифметики и геометрии в Боровском уездном училище» (из послужного списка К. Э. Циолковского).

[3] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 30.

тогда у попавшего к нему волосы становились дыбом и выскакивали искры из любой части тела»[1].

В 1881 г. двадцатичетырехлетний Циолковский самостоятельно разработал основы кинетической теории газов. Работу он послал в Петербургское физико-химическое общество, где она получила одобрение видных членов общества, в том числе и гениального русского химика Д. И. Менделеева. Однако важные открытия, сделанные Циолковским в глухом провинциальном городке, не стали новостью для науки: аналогичные открытия были сделаны несколько раньше в Германии. За вторую научную работу, названную «Механика животного организма»[2], Циолковского единогласно избирают членом Физико-химического общества. Эту моральную поддержку своим первым научным исследованиям Циолковский вспоминает с благодарностью всю свою жизнь. В предисловии ко второму изданию работы «Простое учение о воздушном корабле и его построении» (Калуга, 1904) Константин Эдуардович писал: «Содержание этих работ несколько запоздало, т. е. я сделал самостоятельно открытия, уже сделанные ранее другими. Тем не менее общество отнеслось ко мне с большим вниманием, чем поддержало мои силы. Может быть, оно и забыло меня, но я не забыл гг. Боргмана, Менделеева, Фан-дер-Флита, Петрушевского, Бобылева и в особенности Сеченова».

В 1883 г. Константин Эдуардович написал в форме научного дневника работу «Свободное пространство», где рассмотрел ряд задач классической механики о движении тел в пространстве без действия силы тяжести и сил сопротивления. В таком пространстве основные характеристики движения тел определяются только силами взаимодействия между телами данной механической системы, и особое значение для количественных выводов приобретают законы сохранения основных кинетических величин (количества движения, момента количества движения и кинетической энергии).

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 31.

[2] Работа получила благоприятный отзыв знаменитого физиолога И. М. Сеченова, который отозвался о ней так: «Труд Циолковского, несомненно, доказывает его талантливость. Автор солидарен с французскими биологами-механистами. Жаль, что он не закончен и не готов к печати...» Об этом рассказывал сам К. Э. Циолковский (Собр. соч. М., 1964, т. IV).

Циолковский дает многочисленные примеры и красочные описания явлений в пространстве без действия внешних сил. Вот некоторые из его записей.

24 февраля 1883 г. «...В свободном пространстве наблюдаемое тело не давит на опору и обратно. Поэтому если бы в свободном пространстве нужны были жилища, то, как бы они ни были велики, они не могли сами собой разрушиться от своей непрочности. Целые горы и дворцы, произвольной формы и величины, могли бы держаться без всякой поддержки и связи с опорою. Если я встану на острие у поверхности Земли, то оно проколет мою ногу; если же это случится в свободном пространстве, то мое тело не будет давить на иглу, и там я могу стоять на острие штыка так же спокойно, как на ровном полу.

На Земле в руках я не удержу 4 пуда, а в свободном пространстве тысяча пудов нисколько не отяготит мою руку или мой мизинец.

...В свободном пространстве нет ни верха, ни низа... Там нельзя сказать: я поднимаюсь, я опускаюсь, я выше, вы ниже; ...там маятник не качается, и часы (маятниковые) не ходят. Но время можно отлично узнавать посредством карманных часов или, вообще, посредством часов, у которых маятник качается не силой тяжести, а упругостью стальной пружины»[1].

Движение тел в свободном пространстве может происходить только за счет обмена количествами движения между отдельными телами в соответствии с законом сохранения количества движения (импульса).

Представим себе, что в свободном пространстве имеется всего два тела: человек, масса которого $m_1 = 80$ кг, и камень массой $m_2 = 1$ кг. Пусть в начальный момент времени скорости человека и камня равны нулю. Если человек бросит камень, сообщив ему, например, скорость 16 м/с, то сам он начнет двигаться в противоположную сторону, что следует из закона сохранения количества движения (импульса). Действительно, по закону сохранения количества движения количество движения системы (человек и камень) до и после взаимодействия должно быть одинаковым, в данном случае равным нулю, поскольку тела до взаимодействия поко-

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 32, 33.

ились. Тогда в проекции на прямую, по которой движутся человек и камень, мы получим: $m_1v_1 + m_2v_2 = 0$,

откуда
$$v_1 = -v_2 \frac{m_2}{m_1}. \qquad (1.1)$$

Из формулы (1.1) следует, что значение скорости человека будет равно 0,2 м/с, или 20 см/с, знак «минус» указывает, что человек и камень движутся в противоположные стороны.

Рассмотрение этого примера показывает, что для перемещения в свободном пространстве наиболее естественным является способ отбрасывания кусков материи, т. е. *реактивный способ сообщения движения*. Если частицы вещества отбрасывать непрерывно, то можно получить непрерывное движение тела. Это и осознал Циолковский. Вот его запись от 28 марта 1883 г.: «Положим, что дана бочка, наполненная сильно сжатым газом. Если отвернуть один из ее тончайших кранов, то газ непрерывной струей устремится из бочки, причем упругость газа, отталкивающая его частицы в пространство, будет также непрерывно отталкивать и бочку. Результатом этого будет непрерывное изменение движения бочки. ...Посредством достаточного количества кранов (шести) можно так управлять отбрасыванием газа, что движение бочки или полого шара будет совершенно зависеть от желания управляющего кранами, т. е. бочка может описать какую угодно кривую (в пространстве) и по какому угодно закону скоростей... Вообще равномерное движение по кривой или прямолинейное неравномерное движение сопряжено в свободном пространстве с непрерывною потерею вещества»[1].

В этих записях Циолковского еще нет количественных зависимостей; все рассуждения и утверждения носят чисто качественный характер. Основой всех этих заключений являются известные в механике законы сохранения количества движения и момента количества движения для механических систем, находящихся под действием только внутренних сил (сил взаимодействия). Совершенно очевидно, что реактивный способ сообщения движения привлекал внимание Константина

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 52.

Эдуардовича на самых первых ступенях его самостоятельной научной деятельности.

Позднее (в 1896—1897 гг.) эти качественные суждения будут облечены Циолковским в строгую математическую форму, и числовые расчеты дадут точную инженерную оценку преимуществ ракеты.

Начало самостоятельной научной работы протекало у Циолковского в очень своеобразных условиях. С точки зрения какого-нибудь правоверного доктринера от науки, заниматься научным творчеством Циолковскому вообще было невозможно. В самом деле, представьте себе тихий провинциальный городок Боровск в 80-х годах прошлого века, расположенный вдали от магистральных дорог страны. Ни библиотеки, ни научных журналов, ни лабораторий. Он учитель городского двухклассного училища, программы которого по физике и математике касаются только самых элементарных истин. Интересы коллег не поднимаются выше обсуждений чисто методических вопросов. Газеты приходят с недельным опозданием. И Циолковский делает почти невероятное! Пользуясь отдельными замечаниями о новых вопросах науки в учебниках, собственным запасом знаний, приобретенных в Москве, развивая последовательно принятую им методику самостоятельных доказательств и исследований уже известного, он начинает чувствовать новые насущные проблемы научно-технического прогресса. Возникшую идею Циолковский не может проверить по изданной литературе — ее в Боровске нет; он ведет все исследование от начала до логического конца самостоятельно, в полной уверенности, что родившаяся у него идея нова и никем не обследована. В случае удачи работа оформляется и отправляется на суд официальной науки в столицу.

«Сначала я делал открытия давно известные, потом не так давно, а затем и совсем новые», — писал Циолковский в автобиографии. Совпадение найденных результатов с открытиями других ученых лишь убеждало его в собственных силах, собственном таланте.

Циолковский обладал прекрасной памятью до самых последних дней своей жизни. В зрелом возрасте он не любил делать большие выписки из работ других авторов. Уловив основную мысль какой-нибудь работы или ознакомившись с постановкой какой-либо интересной

задачи, он предлагал собственные доказательства, проводимые независимо и самостоятельно. Такой способ освоения добытых наукой данных требовал колоссальной затраты умственной энергии, но Циолковский предпочитал его другим.

Уже в первых работах Константина Эдуардовича виден самобытный оригинальный ум. Он умеет выбирать темы для размышлений и находить решения, открывающие новые пути в науке. Для него характерна ясная и отчетливая постановка научно-технических проблем. Для популяризации своих идей он обычно прибегает к красочным примерам, убедительно раскрывающим суть дела, для доказательств использует самые простые математические средства. Полученные результаты подвергает тщательному анализу.

Циолковский умел видеть за теоретическими расчетами подлинную горячую жизнь техники, борьбу заскорузлых отмирающих академических школ с новыми идеями. Он настойчиво и последовательно добивался победы нового в труднейших условиях творческого труда. Его крайняя самостоятельность и оригинальность в научных исканиях иногда не совпадает с общепринятыми нормами. Однако он тщательно разбирает все критические замечания оппонентов по достигнутым им результатам и умеет аргументированно отстаивать свои научные убеждения. Циолковский глубоко принципиален в своих творческих исканиях, а его умение самостоятельно работать над научными проблемами — великолепный пример для всех начинающих. Его первые шаги в науке, сделанные в труднейших условиях, — это шаги большого мастера, революционного новатора, зачинателя новых направлений и в науке, и в технике.

Образ идеального ученого-мыслителя может быть примером подражания для молодых людей. Опыт Циолковского показывает, сколь важное значение для развития имеет самостоятельная работа. Конечно, овладевать знаниями, накопленными человечеством за многие века и тысячелетия, без учителей, совершенно самостоятельно гораздо труднее, чем в школе. Этот процесс у самоучек более длительный, но и более основательный. Автор этой книги глубоко убежден, что в классе молодые люди учатся выражать свои мысли, но приобретать их надо в одиночестве, путем сосредоточенного, внима-

тельного размышления. Умению сосредоточиться на определенном круге вопросов, способности уходить от мелочей, от распыления внимания следует учиться каждый день. Эта способность почти целиком формируется воспитанием, и она совершенствуется и закрепляется, становясь чертой характера личности.

Некоторые ученые и инженеры, поверхностно знающие многогранное творчество Циолковского, иногда утверждают, что исследовательская манера Константина Эдуардовича исполнена пренебрежением к предыдущим творческим достижениям великих умов человечества. Познакомим читателя с некоторыми высказываниями, содержащимися в неопубликованной работе Циолковского «Беседы о Земле»[1]. Эти высказывания являются принципиальными и, как писал Циолковский, «могут служить пояснением ко всем моим трудам».

«У меня, в моих работах, мало имен и ссылок на знаменитые сочинения. Но это не значит, что я их не уважаю, не признаю или считаю все мною сказанное за открытое мною. Мои взгляды и учение — несомненный продукт науки и прочитанных мною книг. Вследствие глухоты с детства у меня один источник: написанное или напечатанное.

Без науки, без этого склада трудов великих и гениальных людей всех времен и народов я был бы крошечной величиной.

Человек и даже целый народ, предоставленный самому себе, блуждает во тьме и не в силах, например, сам дойти до известной всем теперь нумерации, или десятичного обозначения чисел.

...Правда, я самостоятелен и многое открывал сам, но все же и я продукт веяний и мыслей, витающих среди людей.

...Мне просто удобно писать так, как я пишу. Отсутствие имен и названий облегчает и читателя. Дело ведь не во мне и в других, а в том, чтобы *сообщить как можно короче и проще то, что людям нужнее всего знать.*

...Я не только признаю заслуги мудрецов, ученых и всех двигателей просвещения и технического прогресса, но и не знаю, как выразить свой восторг и преклонение перед ними».

---

[1] Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, е. хр. 347, с. 1, 2.

Искателям нового в наши дни, когда многие из ранее сделанных открытий проверены общественной практикой, громадным опытом реальных деяний предшествующих поколений, следует иметь в виду, что крупные научно-технические открытия не отбрасывают результаты своих учителей. Исследователь, прокладывающий новые пути в науке, открывающий людям загадочный и интересный мир, полный прелести новизны и очарования, должен помнить, что в его открытиях содержится (хотя бы как частный случай) все ценное, ранее найденное и изученное. Так, в специальной теории относительности содержится механика Ньютона. Допустите только, что отношение скорости движения тела к скорости света стремится к нулю (или пренебрежимо мало), и вы получите все уравнения и выводы бессмертного творения Ньютона. Если в уравнениях движения ракеты принять массу движущегося объекта постоянной, то получатся уравнения механики Ньютона.

И здесь возникает один из важнейших вопросов научного творчества: отношение к научному наследству, или более общая проблема: новаторство и традиция.

Конечно, мы должны (и это важно и необходимо для открытий) знать, что было сделано, исследовано, проанализировано до нас. Мы должны владеть сгустками интеллектуальной культуры человечества. Но нельзя думать, что все наиболее важное и существенное уже сделано, что нам остались лишь доделки грандиозного здания науки, что «где уж нам» состязаться с Ломоносовым, Лобачевским, Эйлером, Эйнштейном. Такая принижающая человека «философия» есть просто отрицание прогрессивного развития и науки, и культуры. Молодые люди нового, социалистического общества должны твердо и убедительно сказать: мы можем открыть новое, доселе неизвестное, скрытое для наших отцов и дедов. Самое важное — уметь видеть великое у своих предшественников, но и не стирать своего «Я», надо уметь видеть и достижения прошлого, и обширные «поля» целины еще не открытого. Вот справедливые слова стихотворения Твардовского:

> «Вся суть в одном единственном завете:
> То, что скажу, до времени тая,
> Я это знаю лучше всех на свете —
> Живых и мертвых, — знаю только я.

Сказать то слово никому другому
Я никогда бы ни за что не мог
Передоверить. Даже Льву Толстому —
Нельзя. Не скажет — пусть себе он бог.
А я лишь смертный. За свое в ответе
Я об одном при жизни хлопочу:
О том, что знаю лучше всех на свете,
Сказать хочу. И так как я хочу».

Для Циолковского всю его творческую жизнь было весьма характерным убеждение в неограниченных возможностях прогресса человечества. Он был оптимистом и верил в светлое будущее и науки, и человеческого общества. Вот его слова: «Вероятно, и теперь нас окружают тайны, ждут великие открытия в области искусства, науки и техники, и довольно простого движения — одного гениального дуновения, чтобы они сделались явны и бесконечно обогатили мир.

Да рассеется тьма и да будет свет! — вот молитва, которую человечество должно почаще повторять и не забывать никогда!»[1].

Конечно, проницательный взгляд гениального человека может заметить такие явления в природе, которые оставались в истории человеческого общества незамеченными, непонятными, неизвестными. Так было, например, с открытиями Коперника, Планка, Менделеева, Пастера, Павлова и др.

Но, да хранит Вас, молодые, опыт могущественных умов человечества, не объявляйте в своих открытиях, что все, чем руководствовались люди в жизни и созидании до вас, было чепухой, заблуждением, неведением глупцов, слепой бездумной традицией.

Великий Ленин учил, что в науке важно «Не голое отрицание, не зряшное отрицание, *не скептическое* отрицание, колебание, сомнение характерно и существенно в диалектике,—которая, несомненно, содержит в себе элемент отрицания и притом как важнейший свой элемент, — нет, а отрицание как момент связи, как момент развития, с удержанием положительного, т. е. без всяких колебаний, без всякой эклектики»[2].

---

[1] *Циолковский К. Э.* Успехи воздухоплавания в XIX веке. Оттиск, 1901, с. 6.

[2] *Ленин В. И.* Полн. собр. соч., т. 29, с. 207.

Глава 11.

РАБОТЫ ПО АЭРОНАВТИКЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКЕ. СКОРЫЙ ПОЕЗД НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Я думаю, что людям всего дороже истина, а не прекрасное заблуждение.

К. Э. Циолковский

В одном из автобиографических фрагментов Циолковский писал: «В 1885 году, имея 28 лет, я твердо решился отдаться воздухоплаванию и теоретически разработать металлический управляемый аэростат» (дирижабль). Константин Эдуардович обратил внимание на существенные недостатки применявшихся аэростатов с оболочками из прорезиненной ткани. Такие оболочки скоро изнашивались, обладали малой прочностью, и вследствие проницаемости ткани наполняющий их газ (в те годы — водород) быстро терялся. Кроме того, проникающий внутрь оболочки воздух образовывал, смешиваясь с водородом, гремучий газ, и достаточно было небольшой искры, чтобы произошел взрыв.

Результатом исследовательской работы Циолковского в этом направлении было сочинение «Теория и опыт аэростата». В этом сочинении дано научно-техническое обоснование создания новой и совершенно оригинальной конструкции дирижабля с тонкой металлической оболочкой, разработаны чертежи общих видов дирижабля и некоторых важных узлов конструкции.

Дирижабль Циолковского имел следующие характерные особенности. Во-первых, это был дирижабль *переменного объема*, что позволяло сохранять *постоянную* подъемную сила при различных температурах окру-

жающего воздуха и различных высотах полета. Возможность изменения объема конструктивно осуществлялась при помощи особой стягивающей системы и гофрированных боковин.

Во-вторых, *газ,* наполняющий дирижабль, *можно было подогревать* путем пропускания по змеевикам отработанных газов моторов.

Третья особенность конструкции состояла в том, что *тонкая металлическая оболочка для увеличения прочности, надежности и устойчивости была гофрированной,* причем для обеспечения жесткости оболочки при деформациях волны гофра располагались перпендикулярно к оси дирижабля[1]. Выбор геометрической формы дирижабля и расчет прочности его тонкостенного корпуса были предложены Циолковским впервые.

АЭРОСТАТЪ

МЕТАЛЛИЧЕСКІЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ.

К. Ціолковскій.

Изданіе С. Е. Чертнова

МОСКВА.

1892.

Титульный лист первой книги К. Э. Циолковского.

Этот проект дирижабля Циолковского не получил признания. Официальная организация царской России по проблемам воздухоплавания — VII воздухоплавательный отдел Русского технического общества — нашла, что проект цельнометаллического дирижабля, способного изменять свой объем, не может иметь большого практического значения и дирижабли «вечно будут игрушкой ветров». Поэтому автору было отказано даже в субсидии на постройку модели. Обращения Циолковского в Генеральный штаб армии также не имели успе-

[1] Принятое в работах Циолковского расположение волн гофра приводит к увеличению шероховатости поверхности корпуса дирижабля и, как показали эксперименты, к существенному увеличению сопротивления. Первые эксперименты по определению влияния шероховатости на сопротивление трения были поставлены в лаборатории Людвига Прандтля (в Геттингене) известным экспериментатором Никурадзе (см. изложение его работ в кн.: *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа. М., 1970, с. 732—737).

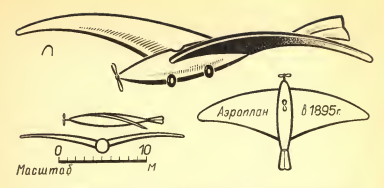


Рис. 1. Схема аэроплана, сделанная К. Э. Циолковским в 1895 г. (верхний рисунок дает представление о внешнем виде аэроплана).

ха. Печатный труд Циолковского «Аэростат металлический управляемый» (1892—1893) получил некоторое число сочувственных отзывов, и этим дело ограничилось.

Циолковскому принадлежит прогрессивная идея постройки цельнометаллического аэроплана.

В статье 1894 г. «Аэроплан, или птицеподобная (авиационная) летательная машина», опубликованной в журнале «Наука и жизнь»[1], даны описание, расчеты и чертежи моноплана со свободнонесущим, безрасчалочным крылом. В противоположность ряду изобретателей и конструкторов, разрабатывавших в те годы аппараты с машущими крыльями, Циолковский указывает, что «подражание птице в техническом отношении весьма затруднительно вследствие сложности движения крыльев и хвоста, а также вследствие сложности устройства этих органов».

Аэроплан Циолковского имеет форму (рис. 1) «застывшей парящей птицы, но вместо ее головы вообразим два гребных винта, вращающихся в разные стороны... Мускулы животного мы заменим взрывными нейтральными двигателями. Они не требуют большого запаса топлива (бензина) и не нуждаются в тяжелых па-

[1] Статья вышла отдельной брошюрой в 1895 г. (см. также: *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1951, т. I, с. 40—73).

ровиках и больших запасах воды... Вместо хвоста устроим двойной руль — из вертикальной и горизонтальной плоскости... Двойной руль, двойной винт и неподвижность крыльев придуманы нами не ради выгоды и экономии работы, а единственно ради исполнимости конструкции»[1].

В цельнометаллическом аэроплане Циолковского крылья уже имеют толстый профиль, а фюзеляж — обтекаемую форму. Весьма интересно, что в этой статье Циолковский впервые в истории развития самолетостроения особенно подчеркивает *необходимость улучшения обтекаемости аэроплана для получения больших скоростей.* Конструктивные очертания аэроплана Циолковского были несравненно совершеннее, нежели более поздние конструкции братьев Райт, Сантос-Дюмона, Вуазена и других изобретателей. О своих расчетах Циолковский писал: «При получении этих чисел я принял самые благоприятные, идеальные условия сопротивления корпуса и крыльев; в моем аэроплане нет выдающихся частей, кроме крыльев; все закрыто общей плавной оболочкой, даже пассажиры»[2].

В этой работе Циолковский впервые делает попытку определить расчетом основные летные характеристики аэроплана для установившегося горизонтального полета. Он находит потребную скорость для поддержания горизонтального полета, определяет потребную мощность двигателей и ряд других летных характеристик. Следует подчеркнуть, что Циолковский правильно утверждал: «Давление на крылья встречного воздуха пропорционально синусу угла отклонения их от направления воздушного потока». При нахождении потребной тяги в работе учитываются коэффициенты полезного действия воздушного винта. Таким образом, в данном исследовании Циолковский заложил основы аэродинамического расчета летных характеристик аэроплана. Позднее в «Отчете Академии наук» он показал, что потребная мощность двигателей прямо пропорциональна коэффициенту лобового сопротивления (C_x) и обратно пропорциональна коэффициенту подъемной силы в степени 3/2 ($C_y^{3/2}$). Полученный им результат приводится в

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1951, т. I, с. 44.
[2] Там же.

наши дни в учебниках по аэродинамическому расчету самолетов.

Циолковский предвидел значение бензиновых двигателей внутреннего сгорания. Вот его слова, показывающие полное понимание устремлений технического прогресса: «...у меня есть теоретическое основание верить в возможность построения чрезвычайно легких и в то же время чрезвычайно сильных бензиновых или нефтяных двигателей, вполне удовлетворяющих задаче летания»[1]. Константин Эдуардович предсказывал, что со временем маленький аэроплан будет успешно конкурировать с автомобилем.

Разработка цельнометаллического свободнонесущего моноплана с толстым изогнутым крылом есть крупнейшая заслуга Циолковского перед авиацией[2].

Прогрессивность (для своего времени — конец XIX в.) предлагаемой конструкции аэроплана Циолковский хорошо осознавал и позднее, в 1927 г., так писал (в форме аннотации) об этом: «Над аэропланом Циолковский также усердно работал, как и над аэростатом. В 1895 г., задолго до робких попыток Ланглея, Ма́ксима, Адера, Сантос-Дюмона и полного торжества Райтов, Циолковский не только математически разработал теорию аэроплана, но и дал тип его, к которому очень медленно приближаются теперь, а именно:

металлический материал;

закрытый корпус;

два гребных винта;

ажурные, хорошей формы крылья, прикрытые одной поверхностью (Юнкерс);

органы управления;

чуть выдающиеся из корпуса колеса (еще не осуществлено, но шасси делаются все ниже и ниже);

взрывной (бензиновый) двигатель.

Даны чертежи и расчеты, вполне оправдавшиеся только сейчас. Дана художественная картина разбега аэроплана и его поднятия»[3].

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1951, т. I, с. 70.

[2] Вероятно, опыт, полученный при разработке тонкостенного металлического дирижабля, был использован К. Э. Циолковским при предэскизном проектировании и расчетах металлического, хорошо обтекаемого моноплана.

[3] Изданные труды К. Э. Циолковского. Калуга, 1927, с. 4.

Циолковский первым в мире математически строго исследовал монопланную схему аэроплана (самолета); эта схема получила наибольшее распространение в наши дни.

Но и эта идея Циолковского (так же как и идея цельнометаллического дирижабля) не получила признания среди русских ученых и инженеров. На дальнейшие работы по цельнометаллическому, хорошо обтекаемому аэроплану не было ни средств, ни даже моральной поддержки.

Об этом периоде своей жизни ученый писал с горечью: «...я сделал много-много новых выводов, но новые выводы встречаются учеными недоверчиво. Эти выводы могут подтвердиться повторением моих трудов каким-нибудь экспериментом, но когда это будет? Тяжело работать в одиночку многие годы при неблагоприятных условиях и не видеть ниоткуда ни просвета, ни поддержки»[1].

Над обоснованием своих идей о создании цельнометаллических дирижабля и аэроплана ученый работал с 1885 по 1898 г. Его техническая интуиция значительно опередила уровень промышленного развития 80—90-х годов прошлого столетия. Однако невероятно тяжелые условия жизни и работы, отсутствие помощников и учеников заставили ученого во многих случаях ограничиться в сущности только формулировкой проблем.

Работы Константина Эдуардовича по теоретической и экспериментальной аэродинамике, несомненно, были обусловлены необходимостью дать более точные значения подъемной силы и лобового сопротивления летательных аппаратов и, следовательно, более строго обосновать аэродинамический расчет летных характеристик дирижабля и аэроплана.

Циолковский был выдающимся ученым-естествоиспытателем. Наблюдения, мечты, вычисления и размышления соединялись у него с постановкой опытов и моделированием.

В рождественские каникулы 1890/91 г. он написал работу «К вопросу о летании посредством крыльев». Выдержка из этой рукописи, опубликованная при содей-

---

[1] *Рынин Н. А.* К. Э. Циолковский, его жизнь, работы и ракеты. Л., 1931, с. 13, 14.

ствии знаменитого физика профессора Московского университета А. Г. Столетова в трудах Общества любителей естествознания в 1891 г., явилась первой напечатанной работой Циолковского. В ней он впервые в мировой научной литературе указал на значение продолговатости (по установившейся теперь терминологии — удлинения) крыла, на его аэродинамические характеристики, дал математический анализ законов движения аэропланов и подтвердил их экспериментально с помощью изобретенного им прибора.

Профессор Московского университета Н. Е. Жуковский высоко оценил результаты первых аэродинамических испытаний Циолковского. В своем отзыве он писал: «Сочинение г. Циолковского производит приятное впечатление, так как автор, пользуясь малыми средствами анализа и дешевыми экспериментами, пришел по большей части к верным результатам. Оригинальная мето́да исследования, рассуждения и остроумные опыты автора не лишены интереса и, во всяком случае, характеризуют его как талантливого исследователя... Рассуждения автора применительно к летанию птиц и насекомых верны и вполне совпадают с современными на этот предмет»[1].

В дальнейшем в процессе борьбы за идеи своего аэроплана и дирижабля, желая получить более точные (нежели расчетные) коэффициенты сопротивления воздуха для тел различной формы, Циолковский в 1897 г. *сооружает в Калуге первую в России аэродинамическую трубу с открытой рабочей частью* («воздуходувку», по терминологии Циолковского, рис. 2) и в следующем году опубликовывает ее описание и результаты первых опытов с подробным рассмотрением методики экспериментов.

Эта замечательная работа по экспериментальной аэродинамике была напечатана в 1898 г. в журнале «Вестник опытной физики и элементарной математики». Циолковский, приобретя значительный опыт аэродинамического проектирования цельнометаллического дирижабля и аэроплана, с величайшей ясностью и убедительностью доказывает необходимость систематиче-

---

[1] См.: *Циолковский К. Э.* Сопротивление воздуха и скорый поезд. Калуга, 1927, с. 69.

ского эксперимента по определению сил воздействия потока на движущиеся в нем тела. Он писал: «А как важно возможно точно формулировать законы сопротивления и трения! Какое громадное значение они имеют к теории аэростата и аэроплана! Да и есть ли области техники и науки, в которых законы сопротивления упругой среды не имели бы значения. Так пожелаем же горячо установления этих законов и поспособствуем, насколько от нас зависит, производству необходимых для этого опытов»[1].

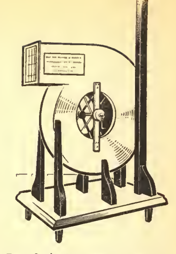


Рис. 2. Аэродинамическая труба К. Э. Циолковского («воздуходувка»).

В работе Циолковского на основании систематических экспериментов по определению сопротивления тел различной формы выяснена роль сил сопротивления трения для дирижаблей, даны интерполяционные формулы для подсчета сил трения, по своей структуре близкие к современным, показано влияние кормовой части тела на значение сил сопротивления давления. Желая подчеркнуть важность и полную достоверность полученных выводов, Константин Эдуардович писал: «Каждому желающему я готов охотно повторить любой из опытов, описанных в этой статье. Прибор (аэродинамическая труба), устроенный мною, так дешев, удобен и прост, так быстро решает неразрешимые теоретические вопросы, что должен считаться необходимою принадлежностью каждого университета или физического кабинета»[2].

Замечательное предвидение Циолковского о значении аэродинамических труб и его программа работ по экспериментальной аэродинамике получили полное под-

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1951, т. I, с. 120.
[2] Там же.

тверждение в дальнейшем развитии авиации и воздухоплавания. Важно отметить также, что мысли Циолковского и его эксперименты прямо откликаются на программу работ по изучению сопротивления воздуха, изложенную Д. И. Менделеевым в его труде «О сопротивлении жидкостей и воздухоплавании»[1], изданном в 1881 г. Д. И. Менделеев говорит о несостоятельности теоретических попыток решить вопрос о сопротивлении среды без планомерных и обширных экспериментальных исследований: «Оттого с высот общих теоретических соображений в деле сопротивления должно спуститься до опыта и измерений, если желательно, чтобы было достигнуто совершенство в гипотезах и теориях предмета, а затем и в практических результатах, а самые опыты и измерения имеют свойство наводить на понимание сущности дела больше, чем попытки охватить сразу всю сущность предмета».

Выдающиеся инженеры и ученые нашей страны Можайский, Жуковский, Циолковский в ряде своих статей и выполненных экспериментальных работах активно поддерживали эти глубокие и прогрессивные высказывания Менделеева, которые были по существу *боевой программой передовой русской науки*.

В 1899 г. Циолковский обратился с просьбой в Академию наук о выдаче ему средств для производства опытов по определению сил сопротивления тел, помещенных в искусственно создаваемый поток воздуха. При этом он указал на результаты своих предыдущих опытов, опубликованные в научных журналах. Академия наук поручила рассмотрение работ Циолковского академику М. А. Рыкачеву, который дал благоприятный отзыв: «Опыты эти заслуживают полного внимания Академии как по идее, так и по разнообразию опытов. Несмотря на примитивные домашние средства, какими пользовался автор, он достиг определения скорости при различных грузах, приводивших в движение воздуходувку.

...Автор определил зависимость сопротивления от скорости потока и от продолговатости формы. Весьма интересны опыты, производимые с целью определения влияния кормовой части.

---

[1] *Менделеев Д. И.* Соч. М.—Л., 1946, т. VII, с. 201—463.

...По всем этим причинам производство опытов в более широких размерах и более точными приборами было бы крайне желательно, и я позволю себе просить Отделение исполнить просьбу автора и оказать ему материальную поддержку из фонда, предназначенного на ученые потребности»[1].

После благоприятного отзыва М. А. Рыкачева Физико-математическое отделение Академии наук решило выдать Циолковскому пособие в сумме 470 руб. на производство новых опытов. Подробная программа этих опытов была представлена Циолковским в Академию наук в мае 1900 г.

Пособие в 470 руб. было первым и единственным в дореволюционное время пособием, полученным Константином Эдуардовичем от официального правительственного учреждения.

На эти деньги Циолковский соорудил новую «воздуходувку» с квадратным сечением рабочей части размером 71×71 см. Для улучшения равномерности поля скоростей воздушного потока по сечению струи Циолковский впервые применил решетку из тонких горизонтальных и вертикальных перегородок. «Сделаны были и измерительные приборы (аэродинамические весы), и все это чуть не 6 раз переделывалось и перестраивалось, пока не получился воздушный поток достаточно удовлетворительный».

К концу 1900 г. начались опыты, а в декабре 1901 г. после окончания большой серии экспериментов на новой «воздуходувке» Константин Эдуардович подготовил отчет о своих исследованиях под названием «Отчет К. Э. Циолковского Российской Академии наук об опытах по сопротивлению воздуха, произведенных им на средства Академии в 1900—1901 гг.». Отчет был направлен на рецензию академику М. А. Рыкачеву и получил отрицательный отзыв, поэтому не мог быть опубликован в трудах Академии. Позднее (в 1902 г.) часть отчета была напечатана в журнале «Научное обозрение» № 5[2].

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1951, т. I, с. 255.

[2] Этот отчет полностью напечатан в I томе собрания сочинений К. Э. Циолковского (см.: *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1951, т. I, с. 121).

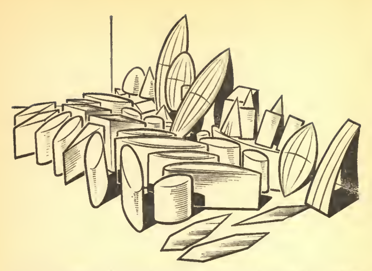


Рис. 3. Модели, обследованные К. Э. Циолковским в аэродинамической трубе в г. Калуге в 1897—1901 гг.

В пояснениях, сделанных Циолковским к этой работе, можно прочесть: «Опытами по сопротивлению воздуха я занимаюсь уже лет 15 с лишком. ...Для своих последних опытов (1900—1901 гг.) я употребил большую лопастную воздуходувную машину, вроде веялки. Такой же вентилятор я употреблял и ранее (1897—1898 гг.), только значительно меньших размеров. Площадь поперечного сечения воздушного потока в настоящее время увеличена в 4 раза... Мне пришлось произвести несколько десятков тысяч записей при своих опытах».

Циолковский в своих экспериментах детально обследовал силы сопротивления для серии плоских пластинок, круглых и эллиптических цилиндров, моделей дирижаблей с различным удлинением и различной геометрической формой головной и кормовой части (рис. 3). Он определял подъемную силу и лобовое сопротивление для крыльев аэропланов. Специальному экспериментальному изучению была подвергнута модель дирижабля Шварца, имевшего цилиндрическую среднюю часть и конические нос и кормовую часть.

В этих опытах, проводившихся Циолковским без тех-

ников и лаборантов, своими руками, были выявлены важнейшие закономерности аэродинамики дозвуковых скоростей. Было доказано, что сила сопротивления плохо обтекаемых тел растет пропорционально квадрату скорости и некоторой характерной для каждого тела площади (например, площади плоской пластины, площади поперечного сечения модели дирижабля и т. п.). Несмотря на то что в опытах скорость воздушного потока изменялась в очень малом диапазоне, Циолковскому удалось показать, что для хорошо обтекаемых тел сила сопротивления трения меняется в зависимости от произведения скорости воздушного потока и характерного линейного размера тела в некоторой степени, причем показатели степени у скорости и длины одинаковы. Если учесть, что Циолковский производил свои опыты примерно в одинаковых условиях (давление и температура воздуха), то сделанные им выводы впервые установили зависимость аэродинамического сопротивления трения от числа Рейнольдса [1]. В современной аэродинамике представление коэффициента сопротивления трения в функции числа Рейнольдса стало общепринятым. Циолковский в ряде своих аэродинамических работ подчеркивал аналогию между сопротивлением воды и воздуха. В наши дни для небольших дозвуковых скоростей воздушного потока этот факт установлен совершенно строго.

С горечью приходится отметить, что большинство результатов Циолковского по экспериментальной аэродинамике не было опубликовано в дореволюционной России и поэтому многие выводы о законах сопротивления воздуха были найдены повторно в XX в. другими исследователями [2].

Странной и малопонятной казалась жизнь К. Э. Циолковского обывателям русских провинциальных дореволюционных городов Боровска и Калуги. Его изобретения, эксперименты, научное творчество, созидание новых духовных ценностей не встречали поддержки и

[1] Безразмерное число $R_e = \frac{vl}{\nu}$, где v — скорость, характерная для данного случая течения жидкости (газа), l — некоторая характерная длина, ν — коэффициент кинематической вязкости.

[2] Главным образом в аэродинамических лабораториях Эйфеля (Франция) и Прандтля (Германия).

сочувствия среди «благонамеренных и аккуратных» городских обывателей.

Почти все сослуживцы по школе и представители местной интеллигенции считали Циолковского неисправимым фантазером и утопистом. Более злые называли его дилетантом и кустарем. Идеи Циолковского казались обывателям невероятными: «Он думает, что железный шар поднимется в воздух и полетит. Вот чудак!»

В г. Боровске летом 1886 г. Константин Эдуардович, увлеченный идеями воздухоплавания, построил большую летающую птицу — ястреба с размахом крыльев около 70 см. Этот ястреб прекрасно летал. Дети и взрослые толпой шли глядеть, как Циолковский запускал на улице своего ястреба. Ночью Циолковский заставлял летать ястреба с фонарем. Обыватели видели движущуюся звезду и спорили: «Что это: звезда или чудак учитель пускает свою птицу с огнем?»

...Зима. Изумленные боровские жители видят, как на коньках по замерзшей реке мчится учитель уездного училища Циолковский. Он воспользовался сильным ветром и, распустив зонт, катится со скоростью курьерского поезда, влекомый силой ветра. «Всегда я что-нибудь затевал. Вздумал я сделать сани с колесом так, чтобы все сидели и качали рычаги. Сани должны были мчаться по льду. Потом я заменил это сооружение особым парусным креслом. По реке ездили крестьяне. Лошади пугались мчащегося паруса, проезжие ругались. Но, по глухоте, я долго об этом не догадывался. Потом уже, завидя лошадь, поспешно убирал парус»[1].

Погруженный в свои размышления, чему, несомненно, способствовала и глухота, ученый часто не замечал на улице коллег по работе в школе, знакомых, начальство. Был рассеян и нередко забывал различные вещи и книги. Он был одержим научным поиском.

«Однажды я поздно возвращался от знакомого. Это было накануне солнечного затмения в 1887 г. На улице, по которой я шел, стоял колодец. Около него что-то блестело. Подхожу и вижу, в первый раз, ярко светящиеся большие гнилушки! Набрал их полный подол и пошел домой. Раздробил гнилушки на кусочки и разбросал их по комнате. В темноте было впечатление звездного неба.

---

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 32.

...А утром ищу зонтик, чтобы выйти на улицу, а его нет. Потом вспомнил, что зонт оставил у колодца. За него получил гнилушки и звездное небо»[1],— с грустной улыбкой замечает Константин Эдуардович в автобиографии.

Он был полон идей. Весьма деятелен и энергичен, хотя внешне казался спокойным и уравновешенным. Среднего роста с длинными черными волосами и черными немного печальными глазами, он был неловок и застенчив в обществе. Однако при защите своих идей проявлял решительность и настойчивость, мало считаясь с пересудами коллег и обывателей. У него было немного друзей. В Боровске он близко сошелся с коллегой по школе Е. С. Еремеевым, в Калуге ему много помогали В. И. Ассонов, П. П. Каннинг и позднее С. В. Щербаков.

Ученый всегда был занят, всегда трудился. Если не читал и не писал, то работал на токарном станке, паял, строгал. Мастерил для своих учеников много действующих моделей, физических приборов.

«...Сделал огромный воздушный шар из бумаги. Спирта достать не смог. Поэтому внизу шара приспособил сетку из тонкой проволоки, на которую клал несколько горящих лучинок. Шар, имевший иногда причудливую форму, поднимался вверх, насколько позволяла привязанная к нему нитка. Однажды нитка перегорела, и шар мой умчался в город, роняя искры и горящую лучину. Попал на крышу сапожника. Сапожник заарестовал шар»[2].

Обыватели смотрели на все опыты Циолковского как на курьезы и баловство. Многие, не размышляя, считали его чудаком и «немножко тронутым». Нужны были огромная энергия и настойчивость, величайшая вера в прогнозируемые пути прогресса техники, чтобы в таком окружении и в тяжелых, почти нищенских условиях ежедневно работать, изобретать, вычислять, двигаясь все вперед и вперед.

Остановимся кратко еще на (более поздней — 1927 г.) работе Циолковского, тесно связанной с проблемами использования аэродинамической силы.

В небольшой брошюре «Сопротивление воздуха и скорый поезд», опубликованной в Калуге в 1927 г.,

---

[1] *Циолковский К. Э.* Моя жизнь и работа. М., 1939, с. 34.
[2] Там же, с. 33.

Циолковский впервые в научной литературе анализирует проблему создания нового вида *транспорта (поезда) на воздушной подушке*. Вот как разъясняет Циолковский свою совершенно оригинальную идею [1].

«Трение поезда почти уничтожается избытком давления воздуха, находящегося между полом вагона и плотно прилегающим к нему железнодорожным полотном. Необходима работа для накачивания воздуха, который непрерывно утекает по краям щели между вагоном и путем. Она велика, между тем как подъемная сила поезда может быть громадна. Так, если сверхдавление в одну десятую атмосферы, то на каждый квадратный метр основания вагона придется подъемная сила в одну тонну [2]. Это в 5 раз больше, чем необходимо для легких вагонов.

Не нужно, конечно, колес и смазки. Тяга поддерживается задним движением вырывающегося из отверстия вагона воздуха. Работа накачивания тут также довольно умеренна (если вагон имеет хорошую, легко обтекаемую форму птицы или рыбы), является возможность получать огромные скорости» [3].

Приведем краткое описание одного из вариантов скорого поезда Циолковского. На рисунке 4 изображены поперечный разрез и план такого поезда (буквенные обозначения совпадают с принятыми в опубликованной в 1927 г. работе). В днище вагона *В* устроены полутрубы *ТТ*. Полотно пути *П* составляет одну плоскость с рельсами *РР*. В полутрубы накачивают воздух, который распространяется в узкой щели между днищем вагона и полотном дороги. Он поднимает вагон на несколько миллиметров и вытекает по краям основания вагона. Днище вагона делается рифленым, что замедляет утечку газа и, следовательно, уменьшает работу для его накачивания. Вагон при такой конструкции не трется о полотно дороги, он висит, поддерживаемый тонким слоем воздуха (воздушной подушкой). Воздух поступает через переднее сопло *Ж* (у Циолковского сопло — жерло) вагона и отчасти вытекает через щели вокруг него, отчасти

[1] Работа 1927 г. вошла в IV том (*Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1964, т. IV, с. 311—341).

[2] В этих единицах ранее измерялась сила и обозначалась тс, 1 тс=1000 кгс, 1 кгс=9,8Н *(прим. ред.)*.

[3] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1964, т. IV, с. 324.

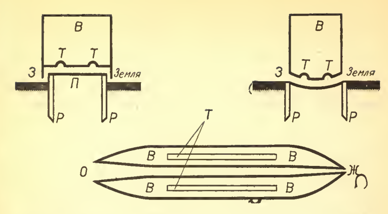


Рис. 4. Чертежи К. Э. Циолковского, поясняющие идею поезда на воздушной подушке.

выходит через заднее отверстие *О*, или диффузор, дает реактивную силу (тягу) и заставляет вагон двигаться. Спереди и сзади вагону приданы очертания, уменьшающие сопротивление воздуха. Можно ввести дополнительный мотор, накачивающий воздух в диффузор, и это может позволить регулировать реактивную силу в нужных пределах. Для описанного здесь варианта Циолковский рекомендует пристыковывать к рельсам закраины *З*.

В 1934 г. Циолковский дал еще одно предложение по устройству вагона на воздушной подушке. Это предложение легло в основу современных конструкций средств транспорта на воздушной подушке. Понимая, что при очень тонком воздушном слое между днищем вагона и дорогой подготовляемый путь должен быть весьма ровным и его эксплуатация реально трудно осуществима (град, мелкие камешки, палки, мусор неизбежны даже в охраняемых открытых линиях метро), Циолковский писал:

«Однако есть средство обойтись не очень ровным путем (полотном). Такой путь будет гораздо дешевле, так как не требует тщательной и неизменяемой формы. Он может быть бетонным или грунтовым с жесткой покрышкой. Из чертежа (см. оригинальную схему Циолковского ~ рис. 5 — *А. К.*) видно, как для этого должен быть устроен пол вагона. Он должен иметь упругие закраины («юбку» — по современной терминологии. —

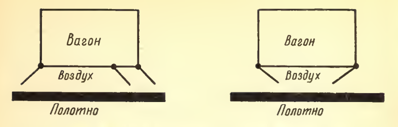


Рис. 5. Схема вагона на воздушной подушке (вариант 1934 г.).

А. К.). Они горизонтальны, когда не вдувают воздух, но сейчас же наклоняются и прилегают плотно к дороге лишь только вдувается воздух и вагон поднимается на несколько миллиметров. Ширина этих закраин примерно 1—2 см (в существующих конструкциях гораздо больше. — *А. К.*). Давление на них невелико — всего 100 граммов на квадратный сантиметр»[1] (приблизительно 1 Н/см^2. — *Прим. ред.*).

Практического осуществления своих идей о новом виде транспорта Циолковскому увидеть не пришлось. Первые морские плоскодонные суда на воздушной подушке поступили в эксплуатацию в Англии, например, лишь в 1958 г.

За последние 20—25 лет в конструкцию аппаратов на воздушной подушке внесены радикальные усовершенствования, позволяющие им двигаться над поверхностью воды и по бездорожью. Одно из усовершенствований состоит в том, что по периметру плоского днища вагона (или другого транспортного аппарата) прикрепляется прямоугольная полоса из прочной (обычно синтетической) ткани, образуя гибкий параллелепипед («юбку»), в который накачивается воздух, создающий давление под днищем, немного (не более 5%) превышающее атмосферное. Юбка уменьшает утечку воздуха из-под днища.

Мы убеждены в громадном практическом значении транспорта на воздушной подушке для нашей страны (у нас обширные степи, тундры, пустыни, водохранилища у электростанций, озера и малые моря с ограниченной высотой волн).

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1964, т. IV, с.348—349.

Глава III.

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ. РАКЕТЫ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО

...Такие жалкие реактивные явления (пороховые ракеты на фейерверках и иллюминациях. — *А. К.*) мы обыкновенно и наблюдали на Земле. Вот почему они никого не могли поощрять к мечтам и исследованиям. Только разум и наука могли указать на преобразование этих явлений в грандиозные, почти непостижимые чувству.

К. Э. Циолковский

Среди великих технических и научных достижений XX столетия одно из первых мест, несомненно, принадлежит ракетам и теории реактивного движения. Годы второй мировой войны привели к необычно быстрому совершенствованию конструкции реактивных летательных аппаратов. На полях сражений появились пороховые ракеты на более калорийном бездымном порохе («катюши»). Были созданы и испытаны скоростные самолеты с воздушно-реактивными двигателями. В сентябре 1944 г. немцы впервые применили против Англии баллистическую ракету на жидком топливе (окислитель — жидкий кислород, горючее — 75%-ный этиловый спирт) с максимальной дальностью полета до 300 км.

За послевоенные годы (1945—1978) ракетная техника сделала колоссальные успехи. Созданы межконтинентальные баллистические ракеты на жидком и твердом топливе, ракеты средней дальности, ракеты зенитные управляемые для борьбы с самолетами противника, ракеты для вооружения подводных лодок и др. Истребительная и бомбардировочная авиация целиком перешла на воздушно-реактивные двигатели. Успешно осваивается околоземное космическое пространство. На безжизненной поверхности Луны космонавты проложили первые тропинки. Совершены полеты к планетам солнечной системы (Меркурию, Марсу, Венере и Юпитеру). Ракет-

ная техника становится важной и быстро совершенствующейся отраслью промышленности.

К. Э. Циолковский много сделал для создания основ теории движения ракет. Он четко сформулировал и исследовал проблему изучения прямолинейных движений ракет. Как мы указывали, принцип сообщения движения при помощи сил реакции отбрасываемых частиц был осознан Циолковским еще в 1883 г., однако создание им математически строгой теории реактивного движения относится к концу XIX столетия.

В одной из своих работ Циолковский писал: «Долго на ракету я смотрел, как и все: с точки зрения увеселений и маленьких применений. Не помню хорошо, как мне пришло в голову сделать вычисления, относящиеся к ракете. Мне кажется, первые семена — мысли — были заронены известным фантазером Жюлем Верном; он пробудил работу моего мозга в известном направлении. Явились желания, за желаниями возникла деятельность ума.

...Никогда я не претендовал на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль. Мои работы о космических путешествиях относятся к средней фазе творчества. Более чем кто-нибудь, я понимаю бездну, разделяющую идею от ее осуществления, *так как в течение моей жизни я не только мыслил и вычислял, но и исполнял, работая также руками. Однако нельзя не быть идее: исполнению предшествует мысль, точному расчету — фантазия*»[1].

В 1903 г. в журнале «Научное обозрение» появилась первая работа Константина Эдуардовича по теории полета ракет, которая называлась «Исследование мировых пространств реактивными приборами». В этом труде на основании простейших законов механики (закона сохранения количества движения и закона независимого действия сил) была дана теория прямолинейных движений ракеты и обоснована возможность применения реактивных аппаратов для межпланетных сообщений[2].

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 179, 180.

[2] Создание общей теории движения тел, масса которых изменяется в процессе движения, принадлежит профессору Петербургского политехнического института *И. В. Мещерскому* (1859—1935),

Идея применения ракеты для решения научных проблем, использования реактивных двигателей для создания движения грандиозных межпланетных кораблей целиком принадлежит Циолковскому. Он родоначальник современных жидкостных ракет дальнего действия, один из создателей новой главы теоретической механики.

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

Autore JS. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Fig. 11.1. Title page of Newton's Principia 1687.

Титул первого издания «Принципов» И. Ньютона (1687 г.).

Классическая механика, изучающая законы движения и равновесия материальных тел, базируется на трех законах движения, отчетливо и строго сформулированных английским ученым Исааком Ньютоном еще в 1687 г. Эти законы применялись многими исследователями для изучения движения тел, масса которых не изменялась во время движения. Были рассмотрены очень важные случаи движения и создалась большая наука — механика тел постоянной массы. Аксиомы механики тел постоянной массы, или законы движения Ньютона, явились обобщением всего предыдущего развития механики. В настоящее время основные законы механического движения изучают в средней школе. Мы дадим здесь краткое изложение законов движения Ньютона, так как последующий шаг в науке, позволивший изучать движения ракет, был дальнейшим развитием методов классической механики.

Первый закон, в частных случаях известный еще Галилею и Декарту, И. Ньютон сформулировал следующим образом: *всякое материальное тело продолжает пребывать в состоянии покоя или равномерного и пря-*

В его работе 1897 г. были заложены основы небесной механики тел (планет и комет) переменной массы. Предложенные Мещерским законы изменения масс небесных тел получили у астрономов название «Законы И. В. Мещерского».

молинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

Этот закон часто называется законом инерции. Он выражает одно из существенных свойств материальных тел. Суть закона инерции состоит в том, что механическое движение тела не может возникнуть из ничего, а возникает только под влиянием взаимодействия с другими телами. Изолированное от влияния других тел всякое материальное тело или находится в покое, или движется прямолинейно и равномерно, сохраняя свое движение. Взаимодействия тел друг с другом, передача движения от одного тела к другому суть причины изменения покоя или равномерного и прямолинейного движения. Движение тела не может исчезнуть и превратиться в ничто, а может быть или передано другому материальному телу как механическое движение, или превратиться в другие формы движения (например, в тепловое движение). Если m — масса тела, а v — его скорость, то произведение (mv) называют количеством движения (импульсом) тела. Для изолированного тела его количество движения остается постоянным. Изменение количества движения может произойти только под влиянием других тел, или, как говорят в механике, под действием сил. Стремление тела сохранить свое количество движения проявляется на опыте в том, что при встрече движущегося тела с препятствием оно производит тем большее давление, чем больше его скорость и чем больше его масса.

Второй закон Ньютона устанавливает меру механического взаимодействия между телами и формулируется так: *изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.*

Если должным образом выбрать единицы массы, скорости и времени, то второй закон (при $m = \text{const}$) можно высказать еще в следующем виде: *сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этой силой ускорение.* Направление ускорения совпадает с направлением движущей силы.

Таким образом, величину механических взаимодействий между телами мы можем измерять по изменению

количества движения, а для тел постоянной массы по ускорению движущегося тела.

Из второго закона Ньютона следует, что одна и та же сила сообщает телам с разными массами разные ускорения. Разные силы сообщают какому-либо выбранному телу ускорения, пропорциональные силам.

В современной теоретической механике второй закон Ньютона является той основой, на которой базируются все математические расчеты. Однако следует указать, что второй закон Ньютона справедлив только для тел, масса которых сохраняется постоянной во все время движения. Следовательно, вторым законом Ньютона можно, например, воспользоваться для изучения движения артиллерийского снаряда, но нельзя изучать движение реактивного снаряда. Для тел постоянной массы законы Ньютона и выводы из них подтверждаются всей общественно-производственной практикой человечества, за исключением специальных областей техники, охватываемых механикой теории относительности.

Третий закон Ньютона имеет весьма большое значение в теории движения ракет, и его можно высказать в следующей форме: *действию всегда есть равное и противоположно направленное противодействие,* иначе говоря, *взаимные действия тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.*

В самом деле, если какое-нибудь тело давит на другое, то оно само испытывает точно такое же давление со стороны последнего. Если какое-либо тело, ударившись о другое тело, изменяет его количество движения на сколько-нибудь, то и оно претерпит от второго тела в своем собственном количестве движения то же самое изменение, но противоположно направленное, ибо давления этих тел друг на друга равны по абсолютному значению и противоположны по направлению.

Следует помнить, что *действие и противодействие приложены к разным телам и поэтому не представляют уравновешенной системы сил.* По этой причине как действие, так и противодействие могут вызвать движение тел, к которым они приложены. Возьмем, например, камень, находящийся под действием силы притяжения Земли, сила противодействия будет в данном случае приложена к Земле. Действие вызывает движение камня, противодействие — движение Земли. Так как масса

камня ничтожно мала по сравнению с массой Земли, то смещение Земли не может быть обнаружено современными приборами; перемещение камня видно невооруженным глазом.

Противодействие на латинском языке — *реакция*, поэтому силы, возникающие в результате взаимодействия соприкасающихся тел, часто называют *реактивными силами*. Например, весло действует на воду, сообщая ей движение, а частицы воды согласно рассмотренному закону действуют на весло (дают реактивные силы давления) и тем способствуют движению лодки.

Из законов Ньютона[1] можно сделать целый ряд заключений о закономерностях наблюдаемых движений. Для понимания основ теории движения тел переменной массы и теории полета ракет весьма существенное значение имеет закон сохранения количества движения для замкнутой механической системы. Вспомним сущность этого закона.

Представим себе систему частиц или тел, которые находятся в движении только под действием сил взаимодействия между ними. Такую механическую систему называют замкнутой. Наиболее наглядным примером замкнутой механической системы является солнечная система, состоящая из Солнца и планет, так как движение этой системы обусловлено только силами взаимного притяжения или внутренними силами. Внешние силы — воздействие звезд и звездных скоплений на солнечную систему — пренебрежимо малы из-за громадных расстояний между нашей солнечной системой и звездами. Движение любого тела в замкнутой механической системе зависит от движения и положения остальных тел системы. В замкнутой механической системе количество движения остается постоянным во все время движения и равным начальному количеству движения этой системы. Если в начальный момент времени все частицы замкнутой механической системы были неподвижными, то начальное количество движения этой системы равно нулю и под действием внутренних сил не может измениться и в дальнейшем. Поэтому хотя внутренние силы и могут вызывать движение отдельных частей системы,

[1] Отметим, что, строго говоря, приведенные формулировки законов Ньютона справедливы только для тел весьма малых размеров, т. е. для материальных точек.

но эти движения должны происходить так, чтобы суммарное количество движения системы оставалось равным нулю.

Рассмотрим, например, два кубика одинаковой массы, расположенные на гладком полированном столе или находящиеся в состоянии невесомости в космическом пространстве, где нет влияния сил тяготения и сил сопротивления воздуха. Поместим между кубиками пружину, сожмем ее (рис. 6), накинем на кубики петлю и положим на стол. Действие упругой силы пружины на кубики будет силой внутренней, и если в начальный момент скорости кубиков равны нулю, то количество движения этой системы будет равным нулю и в последующие моменты времени. Разрежем или пережжем петлю, стягивающую пружину, тогда пружина, распрямляясь, толкнет кубики в прямо противоположные стороны. В соответствии с законом сохранения количества движения кубики будут двигаться так, что их суммарное количество движения по-прежнему будет равно нулю.

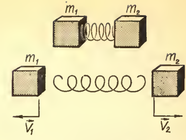


Рис. 6. Экспериментальное подтверждение закона сохранения количества движения.

Если количество движения первого кубика $m_1\vec{v}_1$, где m_1 — масса первого кубика, $\vec{v}_1$ — его скорость, а количество движения второго $m_2\vec{v}_2$, где m_2 — масса второго кубика, а $\vec{v}_2$ — его скорость, то на основании закона сохранения количества движения можно записать:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = 0,$$

или в проекциях на направление движения одного из кубиков [1]:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = 0,$$

откуда следует, что

$$v_1 = -v_2\frac{m_2}{m_1}.$$

[1] Поскольку в рассматриваемых здесь и далее примерах движение происходит вдоль одной прямой, мы будем пользоваться проекциями векторов на эту прямую без специальных оговорок.

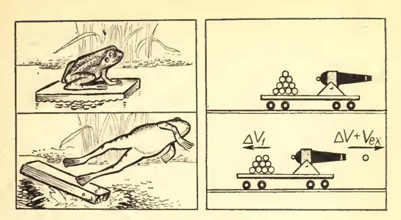


Рис. 7. Примеры действия реактивной силы.

Если массы кубиков равны ($m_1 = m_2$), то их скорости также будут равны по модулю, но направлены они прямо противоположно, на что указывает знак «минус». Если массы кубиков не равны, то кубик большей массы будет иметь меньшую скорость.

Аналогичное явление, например, наблюдается, когда человек прыгает с неподвижной лодки. Всем из опыта известно, что, прыгая, мы отталкиваемся от лодки (т. е. приобретаем при толчке скорость в горизонтальном направлении), а лодка начнет двигаться в противоположную сторону. Пусть масса лодки больше массы человека в 4 раза. Человек при прыжке получил горизонтальную скорость, равную 2 м/с, тогда скорость лодки будет:

$$v_{\text{лодки}} = -\frac{1}{4} v_{\text{человека}},$$

или

$$v_{\text{лодки}} = -\frac{1}{4} \cdot 2 \text{ м/с} = -\frac{1}{2} \text{ м/с}.$$

Знак «минус» показывает, что лодка будет двигаться в противоположную сторону. Если человек прыгает с той же горизонтально направленной скоростью с большого парохода, масса которого в 40 000 раз больше мас-

сы человека, то пароход получит скорость:

$$v_{\text{парохода}} = -\frac{1}{40\,000}\, v_{\text{человека}},$$

или

$$v_{\text{парохода}} = -\frac{1}{40000}\cdot 2\text{ м/с} = -\frac{1}{20000}\text{ м/с} = -\frac{1}{20}\text{ мм/с}.$$

Из этих простых расчетов вытекают очень важные заключения:

а) Если от какого-либо тела (лодки, парохода) отбрасывается (отталкивается) второе тело, то количество движения этого тела равно по модулю приобретаемому количеству движения другим телом.

б) Силу толчка, получаемую лодкой или пароходом от ног прыгающего человека, можно рассматривать как реактивную силу, и она, очевидно, будет тем больше, чем больше масса человека и чем бо́льшую скорость сообщил он себе при толчке. По закону действия и противодействия в момент отделения человека от лодки его давление на лодку будет равно давлению лодки на подошвы ног человека.

в) Если с лодки или парохода будут последовательно каждую секунду прыгать один человек за другим, то скорость парохода будет постепенно увеличиваться, а его масса уменьшаться. Такой пароход подобен ракете.

На рисунке 7 приведены примеры действия реактивной силы в различных ситуациях.

На рисунке 8 показана в разрезе простейшая ракета с пороховым реактивным двига-

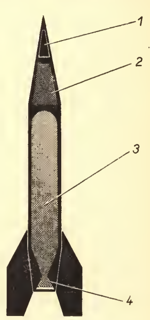


Рис. 8. Схема ракеты с двигателем на твердом топливе:

1 — полезный груз; *2* — отсек приборов управления; *3* — камера сгорания, заполненная твердым топливом; *4* — сопло реактивного двигателя.

телем. Такая ракета представляет собой тело вращения с конической головной частью, в которой располагается полезный транспортируемый груз (приборы, почта и т. п.). Бо́льшую часть объема корпуса ракеты занимает пороховой реактивный двигатель (или, как говорят, двигатель на твердом топливе), состоящий из камеры, заполненной пороховыми шашками, и специально профилированного сопла (часть сопла Лаваля). При горении пороховых шашек образующиеся горячие газы устремляются с большой скоростью через сопло и создают реактивную силу, которая будет тем больше, чем больше скорость вытекающих из сопла частиц и чем больше этих частиц истекает в одну секунду. Для наглядности представлений о возникающей при истечении газов реактивной силе можно частицы нагретых газов рассматривать как маленькие, выпрыгивающие из сопла существа, которые отталкиваются от корпуса ракеты (как человек от лодки) и тем самым создают ее движение.

Простейший реактивный двигатель на жидком топливе представляет собой камеру, похожую по форме на горшок, в котором жители сельских местностей хранят молоко. Через форсунки (см. рис. 9), расположенные на днище этого горшка, происходит подача жидкого горючего и окислителя в камеру сгорания. Подача компонентов топлива рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить полное его сгорание. В камере сгорания происходит воспламенение топлива и продукты горения — горючие газы — с большой скоростью выбрасываются через специально профилированное сопло. Окислитель и горючее помещают в специальные баки, находящиеся на ракете (или самолете). Для подачи окислителя и горючего в камеру сгорания применяют турбонасосы или выдавливают их из баков сжатым нейтральным газом (например, азотом).

На рисунке 10 изображен советский четырехкамерный реактивный двигатель на жидком топливе РД-214 конструкции В. П. Глушко [1]. Этот двигатель развивает

---

[1] Валентин Петрович *Глушко* (род. в 1908 г.) — академик, выдающийся советский конструктор реактивных двигателей, дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий.

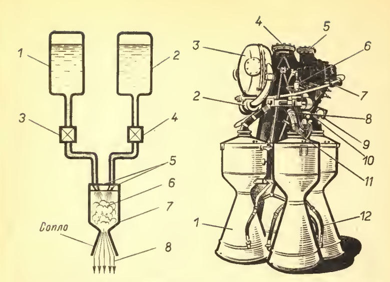


Рис. 9. Простейшая схема жидкостного реактивного двигателя:

1 — бак окислителя; 2 — бак горючего; 3 — насос для подачи окислителя; 4 — насос для подачи горючего; 5 — форсунки; 6 — камера сгорания; 7 — корпус камеры сгорания; 8 — струя отбрасываемых частиц.

Рис. 10. Жидкостный четырехкамерный двигатель РД-214 первой ступени ракеты-носителя «Космос»:

1 — камера сгорания; 2 — газогенератор; 3 — турбина; 4 — насос окислителя; 5 — насос горючего; 6 — редуктор воздушный; 7 — регулятор давления перекиси водорода; 8 — трубопровод окислителя; 9 — реле давления; 10 — рама; 11 — отсечный клапан окислителя; 12 — трубопровод горючего.

в вакууме тягу Ф=740 000 Н. В качестве компонентов топлива в нем применяют окислы азота (окислитель) и углеводородное горючее. Двигатели РД-214 устанавливают на первой ступени ракеты-носителя «Космос». Двигатель был разработан и испытан в 1952—1957 гг.

Струя горячих газов, выбрасываемая из сопла реактивного двигателя, создает реактивную силу, действующую на ракету в сторону, противоположную скорости частиц струи. Значение реактивной силы равно произведению массы отбрасываемых в одну секунду газов на их относительную скорость. Возьмем, например, реактивный двигатель, в котором каждую секунду сгорает 5 кг топлива. Пусть относительная скорость отбрасываемых частиц (продуктов сгорания) равна 2000 м/с, тогда

реактивная сила, которую мы обозначим через Ф, будет равна:

$$\Phi = 5\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} \cdot 2000\ \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10\,000\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}, \quad \text{или} \quad \Phi = 10\,000 \quad \text{Н}.$$

Естественно, что реактивная сила тем больше, чем больше секундный расход топлива и чем больше относительная скорость отбрасываемых частиц.

В некоторых случаях для сжигания горючего в камере реактивного двигателя используют воздух атмосферы, такие двигатели называются воздушно-реактивными. Простейшим примером воздушно-реактивного двигателя является обыкновенная открытая с обоих концов трубка, имеющая переменное поперечное сечение. Внутри трубки помещен вентилятор. Если заставить вентилятор работать, то он будет засасывать воздух с одного конца трубки и выбрасывать его через другой конец. Если в трубку, в пространство за вентилятором, впрыснуть бензин и поджечь его, то скорость выходящих из трубки горячих газов будет значительно больше, чем входящих, и трубка получит тягу в направлении, противоположном струе выбрасываемых из нее газов. Можно соответствующим подбором сечений (радиусов) по длине трубки достигнуть весьма больших скоростей истечения выбрасываемых газов.

Идея использования воздушно-реактивного двигателя для современных типов самолетов была с большой тщательностью самостоятельно разработана К. Э. Циолковским. Он дал первые в мире расчеты летных характеристик самолета с воздушно-реактивным двигателем и турбокомпрессорным винтовым двигателем.

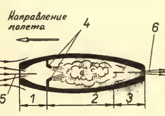


Рис. 11. Схема прямоточного воздушно-реактивного двигателя:

1 — диффузор; *2* — камера сгорания; *3* — сопло; *4* — форсунка; *5* — вход воздуха; *6* — продукты сгорания, вытекающие с большой скоростью.

На рисунке 11 дана схема прямоточного воздушно-реактивного двигателя, у которого движение частиц воздуха по оси трубы создается за счет начальной скорости, полученной ракетой от

какого-либо другого двигателя, а в дальнейшем движение ракеты поддерживается за счет реактивной силы, обусловленной увеличенной скоростью отбрасываемых частиц по сравнению со скоростью входящих частиц.

Движется воздушно-реактивный двигатель за счет энергии сгорающего горючего, так же как и пороховая ракета. Таким образом, *источником движения любого реактивного аппарата является запасенная в этом аппарате энергия топлива.* Сжигая топливо, преобразуют его внутреннюю энергию в энергию механического движения выбрасываемых из аппарата с большой скоростью частиц вещества. Как только будет создано выбрасывание таких частиц из аппарата (газовая струя), он получает движение в сторону, противоположную струе извергающихся частиц. Методы получения потоков извергающихся частиц очень разнообразны. Получение потоков отбрасываемых частиц простейшим и наиболее экономичным способом, разработка методов регулирования таких потоков — благодарная задача изобретателей и конструкторов.

Рассматривая движение простейшей ракеты, легко понять, что ее масса в процессе движения изменяется, так как часть массы ракеты с течением времени сгорает и отбрасывается. *Ракета представляет собой тело переменной массы.* Изучение движения таких тел представляет большие трудности. Уже сейчас существуют ракеты, для которых во время работы двигателя масса уменьшается в 8—10 раз. Изменение массы ракеты в процессе движения не позволяет использовать непосредственно те формулы и выводы, которые получены в классической механике, являющейся теоретической базой расчетов движения тел, масса которых постоянна во время движения.

Теория движения тел переменной массы создана в конце XIX в. у нас в России *И. В. Мещерским* и *К. Э. Циолковским.*

Замечательные работы Мещерского и Циолковского прекрасно дополняют друг друга. Изучение прямолинейных движений ракет, проведенное Циолковским, существенно обогатило теорию движения тел переменной массы благодаря постановке совершенно новых проблем. Следует указать, что основные формулы, относящиеся к прямолинейным движениям ракет (в свободном

от действия сил пространстве и однородном поле силы тяжести), были получены Циолковским до 10 мая 1897 г., хотя публикацию первой части работы удалось осуществить лишь в 1903 г. под названием «Исследование мировых пространств реактивными приборами».

Основные результаты диссертации И. В. Мещерского были получены не позднее 27 марта 1897 г. В этот день диссертация Ивана Всеволодовича была представлена деканом физико-математического факультета Петербургского университета в типографию. Работа вышла в свет в ноябре 1897 г.

Детальное изучение опубликованных и архивных материалов позволяет прийти к выводу о том, что *открытия Мещерского и Циолковского по ракетодинамике* (как теперь мы называем теорию полета ракет) *были сделаны независимо.*

Опубликованные труды К. Э. Циолковского по ракетодинамике позволяют установить последовательность развития его идей в этой новой области человеческого знания.

Каковы же основные законы, управляющие движением тел переменной массы? Как рассчитать скорость полета реактивного аппарата? Как найти высоту полета ракеты, пущенной вертикально? Как выбраться на реактивном приборе за пределы атмосферы? Как выбраться за пределы притяжения Земли — пробить «панцирь» тяготения? Вот некоторые из вопросов, рассмотренных в решениях Циолковского.

С нашей точки зрения, самой драгоценной идеей Циолковского в теории ракет является приобщение к классической механике Ньютона нового раздела — *механики тел переменной массы.* Сделать подвластной человеческому разуму новую большую группу явлений, объяснить то, что видели многие, но не понимали, дать человечеству мощное орудие технических преобразований — вот та задача, которую ставил перед собой гениальный Циолковский. Весь талант исследователя, вся оригинальность, творческая самобытность и необычайный взлет фантазии с особой силой и продуктивностью выявились в его работах по реактивному движению. Он на десятилетия вперед предсказал пути развития реактивных аппаратов. Он рассмотрел те изменения, которым должна была подвергнуться обыкновенная фейер-

верочная ракета, чтобы стать мощным орудием технического прогресса в новой области человеческого знания.

При полете ракеты на сравнительно небольших высотах на нее будут действовать *сила тяжести* (сила ньютоновского тяготения), *две аэродинамические силы*, обусловленные наличием атмосферы, — подъемная и лобового сопротивления и *реактивная сила*, обусловленная процессом отбрасывания частиц из сопла реактивного двигателя. Если учитывать все указанные силы, то задача изучения движения ракеты получается достаточно сложной. Естественно поэтому начать теорию полета ракет с простейших случаев, когда некоторыми из сил можно пренебречь. Циолковский в своей работе 1903 г. раньше всего исследовал, какие возможности заключает в себе реактивный принцип создания механического движения без учета действия аэродинамических сил и силы тяжести. Такой случай движения ракеты может иметь место при межзвездных перелетах, когда силами притяжения планет солнечной системы и звезд можно пренебречь (ракета находится достаточно далеко от солнечной системы и от звезд — в «свободном пространстве», по терминологии Циолковского). Эту задачу называют сейчас *первой задачей Циолковского*. Движение ракеты в этом случае обусловлено только реактивной силой.

Если не учитывать влияния на характеристики движения ракеты аэродинамических и гравитационных сил, то можно выяснить, что максимально дает технике реактивный способ сообщения движения. Как правило, в практически важных задачах аэродинамические и гравитационные силы несколько уменьшают эффект действия реактивной силы.

При математической формулировке задачи Циолковский вводит предположение о постоянстве относительной скорости отброса частиц. При полете в вакууме это предположение означает, что реактивный двигатель работает при установившемся режиме и на срезе сопла скорости истекающих частиц не зависят от скорости движения ракеты.

Вот как обосновывает эту гипотезу Константин Эдуардович в своей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами»: «...чтобы снаряд

получил наибольшую скорость, надо, чтобы каждая частица продуктов горения или иного отброса получила наибольшую относительную скорость. Она же постоянна для определенных веществ отброса. Экономия энергии тут не должна иметь места: невозможна и невыгодна. Другими словами, *в основу теории ракеты надо принять постоянную относительную скорость частиц отброса*»[1].

Циолковский составляет и подробно исследует уравнение движения ракеты при постоянной скорости отбрасываемых частиц и получает весьма важный математический результат, известный сейчас под названием *формулы Циолковского*.

Если обозначить скорость ракеты в момент, когда ее масса равна M, через v, а через V_e — постоянную скорость отбрасываемых из сопла двигателя частиц, тогда формула Циолковского будет иметь следующий вид:

$$v = V_e \ln \frac{M_0}{M} \approx 2{,}3\ V_e \lg \frac{M_0}{M},$$

где M_0 — масса ракеты в момент старта, когда ее скорость равна нулю[2].

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 197.

[2] Приведем для читателей, знакомых с элементами высшей математики, вывод формулы Циолковского.

Если тело массой M (материальная точка) движется со скоростью v, то оно обладает количеством движения, равным Mv; пусть за время dt от него отделяется масса dM со скоростью V_e, а тело получает приращение скорости dv. На основании закона сохранения количества движения имеем (с точностью до бесконечно малых второго порядка):

$$Mdv + V_e dM = 0,$$

или

$$dv = -V_e \frac{dM}{M}. \qquad (1)$$

Допуская, что $V_e = \mathrm{const}$, и интегрируя (1), получим:

$$v = -V_e \ln M + C,$$

где C — постоянная интегрирования. Полагая, что при $M = M_0$ $v = v_0$, находим $C = v_0 + V_e \ln M_0$ и, следовательно,

$$v = v_0 + V_e \ln \frac{M_0}{M}. \qquad (2)$$

Если $v_0 = 0$, то (2) дает формулу Циолковского.

Участок полета ракеты при работающем двигателе называют *активным участком полета.* Скорость ракеты в конце активного участка будет наибольшей. Если масса ракеты при полностью израсходованном топливе будет равна M_k, а наибольшая скорость — $v_{макс}$, то из формулы Циолковского следует, что

$$v_{макс} \approx 2{,}3\, V_e \lg \frac{M_0}{M_k}.$$

Пусть отношение начальной массы ракеты к массе в конце горения равно 10 и пусть относительная скорость V_e отбрасываемых частиц равна 3000 м/с, тогда максимальная скорость ракеты будет:

$$v_{макс} \approx 2{,}3 \cdot 3000 \text{ м/с} \cdot \lg 10 = 6900 \text{ м/с}.$$

Из формулы Циолковского следует весьма важный практический результат: *для получения возможно больших скоростей ракеты в конце работы двигателя нужно увеличивать относительные скорости отбрасываемых частиц и относительный запас топлива.*

Отметим, что увеличение относительных скоростей истечения частиц требует совершенствования реактивного двигателя и разумного выбора составных частей (компонентов) применяющихся топлив, а второй путь, связанный с увеличением относительного запаса топлива, требует значительного улучшения (облегчения) конструкции корпуса ракеты, «сухого» веса двигателей, вспомогательных механизмов и приборов управления полетом.

Строгий математический анализ, проведенный Циолковским, выявил основные закономерности движения ракет и позволил дать количественную оценку для совершенства реальных конструкций ракет.

Простая формула Циолковского позволяет путем элементарных вычислений установить исполнимость того или другого задания. В самом деле, пусть, например, мы хотим создать одноступенчатую ракету для полета на Марс и располагаем двигателем, имеющим относительную скорость отброса частиц, равную 2500 м/с. Тогда, зная, что для преодоления поля тяготения Земли нужна скорость 11,2 км/с, найдем необходимый относительный запас топлива в ракете, используя формулу Циолковского:

$$11\,200 \text{ м/с} = 2{,}3 \cdot 2500 \text{ м/с} \cdot \lg \frac{M_0}{M_k},$$

или

$$\lg \frac{M_0}{M_k} = 1{,}948.$$

По таблицам десятичных логарифмов определяем, что

$$\frac{M_0}{M_k} = 88,$$

т. е. суммарная масса конструкции ракеты, двигателя, вспомогательных механизмов и приборов управления должна составлять немногим больше 1% стартовой массы. Такую ракету сделать в наши дни невозможно. Если бы удалось увеличить относительную скорость истечения до 4850 м/с, то из формулы Циолковского легко найти, что в этом случае

$$\lg \frac{M_0}{M_k} = 1, \quad \text{а следовательно,} \quad \frac{M_0}{M_k} = 10,$$

т. е. масса ракеты без топлива должна составлять 10% ее стартовой массы. Такую ракету можно создать.

Формулой Циолковского можно пользоваться для приближенных оценок скорости ракеты в тех случаях, когда силы аэродинамическая и тяжести сравнительно невелики по отношению к реактивной силе. Подобного рода задачи возникают при создании пороховых ракет с небольшим временем горения и большим секундным расходом массы. Реактивная сила у таких пороховых ракет превосходит силу тяжести в 40—120 раз и силу лобового сопротивления в 20—60 раз. Максимальная скорость такой пороховой ракеты, подсчитанная по формуле Циолковского, будет отличаться от истинной на 1—4%; такая точность определения летных характеристик на первоначальных стадиях проектирования вполне достаточна.

После работы Циолковского 1903 г. стало возможным заранее определять путем вычислений летные характеристики ракет. Следовательно, с этой работы Циолковского начинается создание научного проектирования

ракет. Предвидение К. И. Константинова [1], конструктора боевых пороховых ракет XIX в., — о возможности создания новой науки — баллистики ракет (или ракетодинамики) — получило реальное осуществление в работах Циолковского.

В 80-х годах XIX в. боевые ракеты на черном дымном порохе были сняты с производства и перестали поступать в армию. Экспериментальные (и теоретические) исследования по вопросам ракетной техники стали малоактуальными и ненужными для страны. Начатое по инициативе К. И. Константинова строительство нового ракетного заведения (в г. Николаеве) было прекращено. Ракеты тихо умирали. Остались жить только осветительные и фейерверочные ракеты. Надо было обладать величайшей проницательностью, талантом и научной смелостью, чтобы в создавшихся условиях вести исследования по теории реактивного движения.

В 90-х годах XIX в. Циолковский возродил научно-технические исследования по ракетной технике в России и разработал ряд оригинальных схем грандиозных ракет на жидком топливе. Существенно новым шагом в развитии ракетной техники были предложенные Циолковским схемы ракет дальнего действия и ракет для межпланетных путешествий с реактивными двигателями на жидком топливе. До работ Циолковского исследовались и предлагались для решения различных задач ракеты с пороховыми реактивными двигателями.

Применение жидкого топлива (горючего и окислителя) позволяет дать весьма рациональную конструкцию жидкостного реактивного двигателя с тонкими стенками (охлаждаемыми горючим или окислителем), легкого и надежного в работе. Для ракет больших размеров такое решение было единственно приемлемым.

Ракета 1903 г. Первый тип ракеты дальнего действия Циолковский описал в работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами», опубликованной в 1903 г. «Представим себе, — писал Циолковский, — такой снаряд: металлическая продолговатая камера

[1] Константин Иванович *Константинов* (1818—1871) — крупный военный инженер, руководитель Петербургского ракетного заведения, создатель боевых ракет на черном дымном порохе, автор известной книги «О боевых ракетах» (1864), основоположник экспериментальной ракетодинамики.

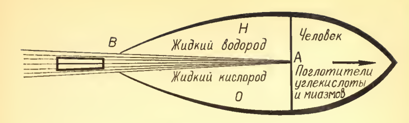


Рис. 12. Ракета К. Э. Циолковского (проект 1903 г.).

(формы наименьшего сопротивления), снабженная светом, кислородом, поглотителями углекислоты, миазмов и других животных выделений, предназначенная не только для хранения разных физических приборов, но и для человека, управляющего камерой... Камера имеет большой запас веществ, которые при своем смешении тотчас же образуют взрывчатую массу. Вещества эти, правильно и равномерно взрываясь в определенном для того месте, текут в виде горючих газов по расширяющимся к концу трубам вроде рупора или духового музыкального инструмента... В одном узком конце трубы совершается смешение взрывчатых веществ: тут получаются сгущенные и пламенные газы. В другом расширенном ее конце они, сильно разредившись и охладившись от этого, вырываются наружу через раструбы с громадной относительной скоростью»[1].

Приведенный здесь рисунок 12 близок к чертежу К. Э. Циолковского, на нем хорошо видна описанная конструкция ракеты: отсек для человека и приборов, объемы, занимаемые жидким водородом (горючее) и жидким кислородом (окислитель), место их смешения (камера сгорания *A*), кожух, окружающий стенки сопла, в котором быстро циркулирует жидкость (один из компонентов топлива), охлаждающая стенки сопла.

Для управления полетом ракеты в верхних разреженных слоях атмосферы Циолковский рекомендовал два способа: графитовые рули, помещаемые в струе газов вблизи среза сопла реактивного двигателя, или поворачивание конца раструба (поворачивание сопла двигателя). Оба приема позволяют отклонять струю горя-

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 73—74.

чих газов от оси ракеты и создавать силу, перпендикулярную к направлению полета (управляющую силу).

Следует отметить, что указанные предложения Циолковского нашли широкое применение и развитие в современной ракетной технике. Все известные нам жидкостные реактивные двигатели сконструированы с принудительным охлаждением стенок камеры и сопла одним из компонентов топлива. Такое охлаждение позволяет делать стенки достаточно тонкими и выдерживающими высокие температуры (до 3500—4000°C) в течение нескольких минут. Без охлаждения такие камеры прогорают за 2—3 с.

Газовые рули, предложенные Циолковским, применяются для управления полетом ракет различных классов как в нашей стране, так и за рубежом. Если реактивная сила, развиваемая двигателем, превосходит силу тяжести ракеты в 1,5—3 раза, то в первые секунды полета, когда скорость ракеты невелика, воздушные рули будут неэффективными даже в плотных слоях атмосферы и правильный полет ракеты обеспечивают при помощи газовых рулей. Обычно в струю реактивного двигателя помещают четыре графитовых руля, располагаемые в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Отклонение одной пары позволяет изменять направление полета в вертикальной плоскости, а отклонение второй пары изменяет направление полета в горизонтальной плоскости. Чтобы ракета не вращалась около собственной оси, одна пара газовых рулей может отклоняться в разные стороны.

Газовые рули, помещаемые в струе горячих газов, уменьшают реактивную силу, поэтому при сравнительно продолжительном времени работы реактивного двигателя иногда оказывается более выгодным или поворачивать соответствующим автоматом весь двигатель, или ставить на ракету дополнительные (меньшего размера) поворачивающиеся двигатели, которые и служат для управления полетом ракеты. Для наглядности укажем, что действие вертикальной пары газовых рулей аналогично действию руля на лодке, движущейся по поверхности воды. Следует также отметить, что каждому закону отклонения газовых рулей будет соответствовать вполне определенная траектория центра масс ракеты. Можно получать бесконечное разнообразие траекторий

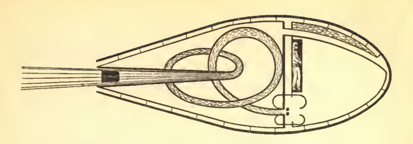


Рис. 13. Ракета К. Э. Циолковского (проект 1914 г.).

полета, если задавать различные «программы» изменения значения реактивной силы и ее направления.

Ракета 1914 г. Внешние очертания ракеты 1914 г. близки к ракете 1903 г., но устройство «взрывной трубы» (т. е. сопла) реактивного двигателя усложнено. В качестве горючего Циолковский рекомендует использовать углеводороды (например, керосин, бензин). Вот как описывается устройство этой ракеты (рис. 13): «Левая задняя кормовая часть ракеты состоит из двух камер, разделенных не обозначенной на чертеже перегородкой. Первая камера содержит жидкий, свободно испаряющийся кислород. Он имеет очень низкую температуру и окружает часть взрывной трубы и другие детали, подверженные высокой температуре. Другое отделение содержит углеводороды в жидком виде. Две черные точки внизу (почти посредине) означают поперечное сечение труб, доставляющих «взрывной трубе» взрывчатые материалы. От устья взрывной трубы (см. линии, охватывающие точки) отходят две ветки с быстро мчащимися газами, которые увлекают и вталкивают жидкие элементы взрывания в устье, подобно инжектору Жиффара или пароструйному насосу. ...Взрывная труба делает несколько оборотов вдоль ракеты параллельно ее продольной оси и затем несколько оборотов перпендикулярно к этой оси. Цель — уменьшить вертлявость ракеты или облегчить ее управляемость»[1].

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 149.

По существу этого предложения К. Э. Циолковский писал в 1930 г. в брошюре «Звездоплавателям» (Калуга, 1930, с. 31): «Западные математики доказали, что стабилизировать такая труба не будет... Сначала мне этот вывод показался неверным (парадок-

Циолковский хорошо понимал трудность возвращения ракеты из космического пространства на Землю, имея в виду, что при больших скоростях полета в плотных слоях атмосферы ракета может сгореть или разрушиться, подобно метеориту. В этой схеме ракеты внешняя оболочка корпуса могла охлаждаться жидким кислородом.

В носовой части ракеты Циолковский располагает запас газов, необходимых для дыхания и поддержания нормальной жизнедеятельности пассажиров, приспособления для предохранения живых существ от действия больших перегрузок, возникающих при ускоренном (или замедленном) движении ракеты, приспособления для управления полетом, запасы пищи и воды, вещества, поглощающие углекислый газ, миазмы и вообще все вредные продукты дыхания.

Очень интересна идея Циолковского о предохранении живых существ и человека от действия больших перегрузок («усиленной тяжести», по терминологии Циолковского) при помощи погружения их в жидкость равной плотности. Впервые эта идея встречается в работе Циолковского 1891 г. Вот краткое описание простого опыта, убеждающего нас в правильности предложения Циолковского для однородных тел (тел одинаковой плотности). Возьмем нежную фигуру из теста, которая едва выдерживает собственный вес. Нальем в крепкий сосуд жидкость такой же плотности, как и тесто, и погрузим в эту жидкость фигуру. Теперь посредством центробежной машины вызовем перегрузки, превышающие силу тяжести во много раз. Сосуд, если недостаточно крепок, может разрушиться, но фигура из теста в жидкости будет сохраняться целой. «Природа давно пользуется этим приемом, — пишет Циолковский, — погружая зародыш животных, их мозги и другие слабые части в жидкость. Так она предохраняет их от всяких повреждений. Человек же пока мало использовал эту мысль»[1].

Следует отметить, что для тел, плотность которых

сальным). Но скоро я должен был убедиться в полной его правильности, несмотря на кажущуюся и очевидную роль труб с завитками».

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 170.

различна (тела неоднородные), влияние перегрузки будет проявляться и при погружении тела в жидкость. Так, если в фигуру из теста заделать свинцовые дробинки, то при больших перегрузках все они выползут из фигуры в жидкость. Но, несомненно, в жидкости человек может выдержать бóльшие перегрузки, чем, например, в специальном кресле.

Ракета 1912—1915 гг. В работе Я. И. Перельмана «Межпланетные путешествия», изданной в 1915 г. в Петрограде, помещены чертеж и описание ракеты, выполненные Циолковским в 1912 г. (рис. 14).

«Труба *А* и камера *В* из прочного тугоплавкого металла покрыты внутри еще более тугоплавким материалом, например вольфрамом. *С* и *Д* — насосы, накачивающие жидкий кислород и водород в камеру взрывания. Ракета имеет еще вторую наружную тугоплавкую оболочку. Между обеими оболочками есть промежуток, в который устремляется испаряющийся жидкий кислород в виде очень холодного газа, он препятствует чрезмерному нагреванию обеих оболочек от трения при быстром движении ракеты в атмосфере. Жидкий кислород и такой же водород разделены друг от друга непроницаемой оболочкой (не изображенной на рисунке 14). *Е* — труба, отводящая испаренный холодный кислород в промежуток между двумя оболочками, он вытекает наружу через отверстие *К*. У отверстия трубы имеется (не изображенный на рисунке 14) руль из двух взаимно перпендикулярных плоскостей для управления ракетой. Вырывающиеся разреженные и охлажденные газы бла-

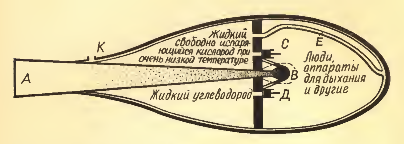


Рис. 14. Ракета К. Э. Циолковского (проект 1912—1915 гг.).

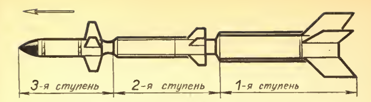


Рис. 15. Схема трехступенчатой ракеты К. Э. Циолковского.

годаря этим рулям изменяют направление своего движения и, таким образом, поворачивают ракету»[1].

Составные ракеты. В работах Циолковского, посвященных составным ракетам или ракетным поездам, не дано чертежей с общими видами конструкций, но по приведенным описаниям можно утверждать, что Циолковский предлагал к осуществлению два типа составных («многоступенчатых») ракет.

Первый тип подобен железнодорожному поезду при условии, что паровоз толкает состав сзади. Представим себе три ракеты, сцепленные последовательно одна за другой (рис. 15). Такой поезд толкает сначала нижняя, хвостовая ракета (работает двигатель первой ступени). После использования запасов ее топлива ракета отцепляется и падает на Землю. Далее начинает работать двигатель второй ракеты, которая для поезда из оставшихся двух ракет является хвостовой, толкающей. После полного использования топлива второй ракеты она также отцепляется, и последняя, третья ракета начинает использовать свой запас топлива, уже имея достаточно высокую скорость, полученную от работы двигателей первых двух ступеней.

Циолковский обнаружил расчетами наиболее выгодное распределение масс отдельных ракет, входящих в поезд.

Вычислим стартовую массу ракеты, считая $V_e=2500$ м/с, отношение массы ракеты без топлива (масса конструкции ракеты + масса полезного груза) к стартовой массе равно $^1/_5$ (т. е. $M_0/M_k=5$). В этом случае для одноступенчатой ракеты получим

$$v=V_e\ln\frac{M_0}{M_k} = 2500\ \ln 5 = 2{,}5\ \text{км/с}\cdot 1{,}6 = 4\ \text{км/с}.$$

[1] *Рынин Н. А.* К. Э. Циолковский, его жизнь, работы и ракеты. Л., 1931, с. 41.

Допустим, что масса конструкции ракеты равна массе полезного груза. Тогда, приняв массу полезного груза равной одной тонне, находим, что для выбранной одноступенчатой ракеты

$$M_0^{(1)} = 5M_k = 5(1+1) = 10 \text{ т.}$$

Эту ракету с массой 10 т можно рассматривать как полезный груз двухступенчатой системы, причем для простоты примем, что масса конструкции второй ступени будет также равна 10 т. Тогда, чтобы увеличить скорость полезного груза (т. е. первой ступени) на 4 км/с, нужна ракета с массой $M_0^{(2)} = (10+10)\cdot 5 = 100$ т.

Рассуждая аналогично, найдем, что при сформулированных требованиях к массе конструкции ступеней стартовая масса для трехступенчатой системы, дающей массе в 100 т скорость, равную 4 км/с,

$$M_0^{(3)} = (100 + 100)\cdot 5 = 1000 \text{ т.}$$

Ясно, что идя таким путем, мы будем получать увеличение стартовой массы по закону геометрической прогрессии, в то время как скорости истинного полезного груза (массой в 1 т) будут расти в арифметической прогрессии.

Приведем результаты расчетов для случая пятиступенчатой системы.

Таблица 1

Максимальная скорость, сообщаемая полезному грузу в 1 т, км/с	Число ступеней	Стартовая масса системы для полезного груза в 1 т, т
4	1	10
8	2	100
12	3	1000
16	4	10 000
20	5	100 000

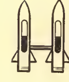
Приведенные цифры показывают, что увеличение скорости полезного груза достигается слишком дорогой ценой.

Следует подчеркнуть здесь принципиальное значение для совершенствования ракет, предназначенных для

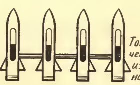
межпланетных путешествий, увеличения относительной скорости отбрасываемых частиц.

Второй тип составной ракеты, предложенный Циолковским в 1935 г., назван им эскадрильей ракет. Представьте себе, что в полет отправились восемь одинаковых ракет, соединенных между собой, как скрепляются бревна плота на реке. При старте все восемь реактивных двигателей начинают работать одновременно. Когда каждая из восьми ракет израсходует половину запаса топлива, тогда четыре ракеты (например, две справа и две слева) перельют свой неизрасходованный запас топлива в полупустые емкости остающихся четырех ракет и отделятся от эскадрильи. Дальнейший полет продолжают четыре ракеты с полностью заправленными баками (рис. 16). Когда оставшиеся четыре ракеты израсходуют каждая половину вмещающегося запаса топлива, тогда две ракеты (одна слева и одна справа) перельют









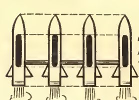


Рис. 16. Схема составной ракеты (эскадрилья ракет) К. Э. Циолковского.



К. Э. Циолковский в 1927 г.

свое топливо в оставшиеся две ракеты и отделятся от эскадрильи. Полет продолжают две ракеты. Израсходовав половину своего топлива, одна из ракет эскадрильи переливает оставшуюся половину в другую ракету, предназначенную для достижения цели путешествия. Преимущество эскадрильи состоит в том, что все ракеты одинаковы. Переливание компонентов топлива в полете является хотя и трудной, но вполне технически разрешимой задачей.

Создание разумной конструкции ракетного поезда является одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время, и многие научно-технические журналы систематически публикуют статьи ученых и инженеров, посвященные развитию этих грандиозных по замыслу проектов Циолковского.

Составная пассажирская ракета описана Циолковским в книге «Вне Земли», изданной в Калуге в 1920 г. В этой книге рассказывается о событиях, происходящих в 2017 г., поэтому и ракета названа Циолковским «составной пассажирской ракетой 2017 г.». Вот что о ней говорится: «...это было длинное тело формы наименьшего сопротивления, длиною в 100, шириною в 4 метра, что-то вроде гигантского веретена. Поперечными перегородками оно разделялось на 20 отделений, каждое из которых было реактивным прибором, т. е. в каждом отделении содержался запас взрывчатых веществ, была взрывная камера с самодействующим инжектором, взрывная труба и пр. Одно среднее отделение не имело реактивного прибора и служило кают-компанией; оно имело 20 метров длины и 4 метра в диаметре.

...Камеры взрывания и трубы, составляющие их продолжение, были сооружены из весьма тугоплавких и прочных веществ, вроде вольфрама, так же как и инжекторы. Весь взрывной механизм окружался камерой

с испаряющейся жидкостью, температура которой была поэтому достаточно низкой. Эта жидкость была одним из элементов взрывания. Другая жидкость помещалась в других изолированных отделениях. Наружная оболочка ракеты состояла из трех слоев. Внутренний слой прочный, металлический с окнами из кварца, прикрытыми еще слоем обыкновенного стекла, с дверями, герметически закрывающимися. Второй — тугоплавкий, но почти не проводящий тепло. Третий — наружный, представлял очень тугоплавкую, но довольно тонкую металлическую оболочку. Во время стремительного движения ракеты в атмосфере наружная оболочка накалялась добела, но теплота эта излучалась в пространство, не проникая сильно через другие оболочки внутрь. Этому еще мешал холодный газ, непрерывно циркулирующий между двумя крайними оболочками, проницая рыхлую малотеплопроводную среднюю прокладку. Сила взрывания могла регулироваться с помощью сложных инжекторов, а также прекращаться и возобновляться. Этим и другими способами можно было изменять направление взрывания.

Температура внутри ракеты регулировалась по желанию с помощью кранов, пропускающих холодный газ через среднюю оболочку ракеты. Из особых резервуаров выделялся кислород, необходимый для дыхания. Другие снаряды были назначены для поглощения продуктов выделения кожи и легких человека. Все это также регулировалось по надобности. Были камеры с запасами для пищи и воды. Были особые скафандры, которые надевались при выходе в пустое пространство и вхождении в чуждую нам атмосферу чуждой планеты. Было множество инструментов и приборов, имеющих известное или специальное назначение. Были камеры с жидкостями для погружения в них путешествующих во время усиленной относительной тяжести. Погруженные в них люди дышали через трубку, выходящую в воздушную атмосферу ракеты. Жидкость уничтожала их вес, как бы он ни был велик в краткое время взрывания. Люди совершенно свободно шевелили своими членами, даже не чувствовали их веса, как он чувствуется на Земле: они были подобно купающимся или прованскому маслу в вине при опыте Плато. Эта легкость и свобода движений позволяла им превосходно управлять всеми

регуляторами ракеты, следить за температурой, силою взрывания, направлением движений и т. д. Рукоятки, проведенные к ним в жидкость, давали им возможность все это делать. Кроме того, был особый автоматический управитель, на котором на несколько минут сосредоточилось все управление снарядом. На это время можно было не касаться ручек приборов; они сами собой делали все, что им заранее «приказано». Взяты были запасы семян разных плодов, овощей и хлебов для разведения их в особых оранжереях, выпускаемых в пустоту. Также заготовлены и строительные элементы этих оранжерей.

Объем ракеты составлял около 800 кубических метров. Она могла бы вместить 800 тонн воды. Менее третьей доли этого объема (240 тонн) было занято двумя постепенно взрывающимися жидкостями... Этой массы было довольно, чтобы 50 раз придать ракете скорость, достаточную для удаления снаряда навеки от солнечной системы и вновь 50 раз потерять ее. Такова была сила взрывания этих материалов. Вес оболочки, или самого корпуса ракеты со всеми принадлежностями, был равен 40 тоннам[1]. Запасы, инструменты, оранжереи составили 30 тонн. Люди и остальное — менее 10 тонн. ...Объем для помещения людей, т. е. заполненного разреженным кислородом пространства, составлял около 400 кубических метров. Предполагалось отправить в путь 20 человек. На каждого доставалось помещение в 20 кубических метров, что при постоянно очищаемой атмосфере было в высшей степени комфортабельно. Все отделения сообщались между собою небольшими проходами. Средний объем каждого отсека составлял около 32 кубических метров. Но половина этого объема была занята необходимыми вещами и взрывающейся массой (компонентами топлива. — *А. К.*). Оставалось на каждое отделение около 16 кубических метров. Средние отделения были больше, и каждое могло служить отличным помещением для одного человека. Одно отделение в наиболее толстой части ракеты имело в длину 20 метров и служило залом собраний. На боковых сторонах этих отделений были расположены окна с прозрачными стек-

[1] См. примечание в сноске 2 на с. 44.

лами, закрываемыми наружными и внутренними ставнями»[1].

Для получения эффекта ускорения, которое сообщало бы людям в ракете привычное ощущение тяжести и направления верха и низа, Циолковский предусматривает сообщение ракете вращательного движения около поперечной оси, проходящей через центр масс. Если ракета будет, например, совершать один оборот в минуту, то ускорение в наиболее удаленных точках ракеты будет примерно в 20 раз меньше земного.

Отопление ракеты производится при помощи солнечных лучей, проникающих через окна, а также за счет нагревания Солнцем оболочки ракеты. Для регулирования температуры внутри ракеты Циолковский предусматривает изменение формы и окраски внешней поверхности ракеты. При помощи сферических зеркал можно получать очень высокие температуры и, следовательно, использовать энергию Солнца для производства металлургических работ.

Ракеты, предложенные Циолковским, не были оформлены автором в виде эскизных и предэскизных проектов, привычных современному инженеру-ракетостроителю. В сущности это были заявки на новые идеи. Основное внимание Циолковский уделил научно-техническим расчетам, доказывающим осуществимость этих предложений. Для выполнения расчетов нужно было создать основы новой науки — *ракетодинамики*.

---

[1] *Циолковский К. Э.* Вне Земли. М., 1958, с. 40—42.

Глава IV.

НОВАЯ НАУКА—РАКЕТОДИНАМИКА

Нет ничего более практичного, чем хорошая теория.

Л. Больцман

Современная ракетодинамика — это наука о движении летательных аппаратов (ракет, реактивных самолетов, искусственных спутников Земли, межпланетных кораблей, орбитальных станций и других объектов), снабженных реактивными двигателями. Главной задачей этой науки является определение летных характеристик объектов как на участках траектории при работающих двигателях (так называемые активные участки полета), так и на участках — при выключенных двигателях (пассивные участки полета).

Летные характеристики реактивных летательных аппаратов содержат в себе основные данные о движении центра масс (центра тяжести) аппарата и количественное описание движения аппарата около центра масс. При проектировании ракет различных классов и назначений весьма важно знать, какую траекторию будет описывать центр масс ракеты, какие скорости и ускорения будет она иметь на активном участке полета, как нужно расходовать (сжигать) в реактивном двигателе имеющийся в баках ракеты запас топлива, для того чтобы ракета имела наибольшую дальность полета или достигала заданной цели в минимальное время, или получала на заданной высоте максимальную скорость. Во многих случаях движение центра масс ракеты зависит от случайных небольших возмущений, которые откло-

няют траекторию ракеты от расчетной или запрограммированной траектории и вызывают так называемое рассеивание траекторий полета и, следовательно, неточное попадание в заданную цель. Теория рассеивания при изучении полета ракет является важной главой ракетодинамики.

Закономерности движения ракеты около центра масс характеризуют динамическую устойчивость ракеты и ее способность реагировать на действие рулей. Весьма важным является изучение управляемости и маневренности ракеты, выявление ее располагаемых перегрузок [1] на различных высотах полета, определение влияния жидкого топлива в баках на стабилизацию и управляемость ракеты, а также изучение упругих колебаний крыльев, стабилизаторов и корпуса ракеты, вызываемых возмущающими воздействиями воздушного потока и реактивного двигателя.

Изучение движения современных объектов ракетной техники и космонавтики относительно центра масс стало особо важным при наличии на объектах людей (космонавтов), проведении стыковки и разделения (пример: «Салют-6» + «Союз-26» и «Союз-27»). В этих случаях приходится иметь дело с изменением положения аппаратуры, космонавтов, солнечных батарей, систем жизнеобеспечения и т. п., что приводит к изменениям относительного положения центра масс и моментов инерции, т. е. к изменению динамических свойств летательного аппарата. Эти потребности практики приводят к новым задачам ракетодинамики и требуют их строгого и точного решения.

При выявлении специфических задач современной ракетодинамики (ведущей свое начало от Циолковского) мы рассмотрим два основных класса современных ракет: 1) неуправляемые ракеты, 2) управляемые ракеты.

Хорошо известным примером неуправляемых ракет являются советские пороховые ракеты периода второй мировой войны («катюши») или метеорологические ракеты МР-1, применявшиеся в нашей стране для иссле-

---

[1] Отношение подъемной силы летательного аппарата к его весу определяет располагаемую перегрузку данного объекта. Чем больше располагаемая перегрузка, тем лучше маневрирует летательный аппарат.

дования верхних слоев атмосферы в течение Международного геофизического года.

Из относительно старых управляемых ракет можно назвать американскую зенитную ракету Найк-Аякс. В нашей стране созданы теперь весьма совершенные управляемые ракеты-носители для космических кораблей «Восток», «Восход», «Союз» и орбитальных станций «Салют».

Приведем аргументацию К. Э. Циолковского преимуществ ракеты при полетах в космос. Вот краткий итог его размышлений (он сравнивает пушку с ракетой, полагая, что ядро пушки есть космический корабль, а у ракеты полезным грузом является кабина пилота с системами жизнеобеспечения):

ракета много легче пушки (если, конечно, иметь в виду большие скорости полета);

ракета дешевле пушки;

ускорение ракеты можно регулировать и, следовательно, можно иметь для путешественников (космонавтов) приемлемые перегрузки;

вектор скорости ракеты можно изменять по заданной программе. Реактивная сила (регулируемая) может обеспечить мягкую посадку на небесные тела, не имеющие атмосферы;

в плотных слоях атмосферы Земли (при разгоне) скорость ракеты мала и потери энергии на преодоление аэродинамической силы сопротивления могут быть существенно меньше, чем у пушечного ядра. При малых и умеренных скоростях корпус ракеты не нагревается, и, следовательно, стенки корпуса ракеты можно делать достаточно тонкими.

Ракетодинамика неуправляемых ракет аналогична внешней баллистике артиллерийского снаряда. Часто для наглядности говорят, что активный участок полета неуправляемой ракеты аналогичен весьма длинному стволу артиллерийского орудия. Ракетодинамика неуправляемых ракет, так же как и внешняя баллистика артиллерийских снарядов, состоит из следующих трех основных разделов: «Теория движения центра масс ракеты», «Теория движения ракеты около центра масс» и «Экспериментальная ракетодинамика».

Ракетодинамика управляемых ракет, таких, как зенитные управляемые ракеты, предназначенные для

стрельбы с земли по самолетам противника, ракетодинамика баллистических управляемых ракет, предназначенных для стрельбы по наземным неподвижным целям, и управляемых ракет, подвешиваемых под самолет и предназначенных для стрельбы с самолета по самолету, по своему содержанию и применяемым методам исследования гораздо ближе к динамике полета самолета — хорошо известной науке, основанной еще Н. Е. Жуковским.

В ракетодинамике управляемых ракет тоже можно выделить теорию движения центра масс ракеты и экспериментальную ракетодинамику, аналогичные по содержанию соответствующим разделам ракетодинамики неуправляемых ракет. Однако движение управляемой ракеты около центра масс, как правило, нельзя отделить от исследования движения самого центра масс.

К. Э. Циолковский сделал фундаментальные открытия в теории движения центра масс ракет (т. е. в теории поступательных движений ракет). Хотя Константин Эдуардович в ряде своих статей и указывал на целесообразность применения гироприборов для стабилизации ракеты при ее полете в свободном пространстве, но математических расчетов в этом направлении он, повидимому, не проводил.

При исследовании движения центра масс ракеты (или поступательного движения ракеты как твердого тела), стартующей с поверхности Земли, принимают во внимание следующие силы, действующие на ракету в полете:

силу тяжести, или силу притяжения ракеты Землей (а иногда силы притяжения Луны, Солнца и других планет солнечной системы);

аэродинамические силы, обусловленные наличием атмосферы (подъемная сила и сила лобового сопротивления);

реактивную силу.

Рассмотрим более подробно указанные силы.

Сила притяжения, или всемирного тяготения, была открыта И. Ньютоном при рассмотрении законов падения тел и тщательном анализе движения Луны. Закон тяготения, открытый Ньютоном, гласит: каждые две материальные частицы во Вселенной притягивают друг друга с силой, действующей по прямой, их соединяю-

щей, напряжение (значение) которой изменяется прямо пропорционально произведению их масс и обратно пропорционально квадрату их взаимного расстояния.

Допуская, что Земля — шар, плотность сферических слоев которого зависит только от расстояния до центра Земли, можно доказать, что Земля притягивает любую внешнюю материальную частицу (материальную точку) массой m, как точка, расположенная в центре Земли и имеющая массу M, равную массе Земли. Тогда модуль силы притяжения Земли, действующей на частицу, находящуюся на расстоянии R от центра Земли, будет определяться по формуле:

$$F = G\frac{mM}{R^2}, \qquad (1.4)$$

где $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ есть универсальная постоянная тяготения. Обозначая произведение GM через K, можно формулу (1.4) записать так:

$$F = \frac{Km}{R^2}. \qquad (2.4)$$

Ракету, движущуюся в поле тяготения Земли, можно принять за материальную частицу, масса которой равна массе ракеты. Равнодействующая сил тяготения, действующих на отдельные части ракеты, приложена к центру тяжести (центру масс) ракеты и на поверхности Земли равна:

$$P = mg_0, \qquad (3.4)$$

где m — масса ракеты, а g_0 — ускорение силы тяжести на поверхности Земли, среднее значение которого равно 9,81 м/с^2.

Пусть радиус Земли равен R_0, тогда сила тяготения (силы притяжения), действующая на ракету на поверхности Земли, согласно закону всемирного тяготения (с учетом формулы (2.4) будет равна:

$$F = \frac{Km}{R_0^2}. \qquad (4.4)$$

Ясно, что $F = P$.

Сравнивая значения F и P, легко найти, что $K = g_0 R_0^2$.

Следовательно, значение силы тяготения для ракеты, находящейся на расстоянии R от центра Земли, определяется формулой:

$$F = \frac{Km}{R^2}, \; F = mg_0 \frac{R_0^2}{R^2} = P \frac{R_0^2}{R^2}. \qquad (5.4)$$

Полученная формула показывает, что ракета, весящая на поверхности Земли 1000 кН, будет на высоте, равной радиусу Земли ($R_0=6371$ км), весить только 250 кН, а на высоте $R=5R_0$, т. е. на расстоянии 31 855 км от центра Земли, всего 40 кН.

Поле тяготения Земли с динамической точки зрения можно характеризовать двумя скоростями: скоростью искусственного спутника и скоростью освобождения, или параболической скоростью. Скорость искусственного спутника, летающего по круговой орбите радиусом, равным радиусу Земли, называют *первой космической скоростью.* Эта скорость v_1 определяется по формуле:

$$v_1 = \sqrt{g_0 R_0}, \quad v_1=7912 \text{ м/с},$$

или приближенно $v_1=8$ км/с. Такую скорость в горизонтальном направлении нужно сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно стало ее спутником, движущимся по круговой орбите.

Скорость освобождения v_2 позволяет ракете удалиться от Земли и стать спутником Солнца. Эту скорость называют *второй космической скоростью,* и она вычисляется по формуле:

$$v_2 = \sqrt{2g_0 R_0}, \; v_2 = 11\,189 \text{ м/с},$$

или приближенно $v_2=11{,}2$ км/с.

Для получения значения первой космической скорости допустим, что радиус орбиты очень мало отличается от радиуса Земли, т. е. $R=R_0$. Центростремительное ускорение точки, движущейся по окружности радиуса R_0 со скоростью v_1, равно:

$$a = \frac{v_1^2}{R_0}.$$

Но это ускорение на поверхности Земли равно ускоре-

нию свободного падения. Следовательно, $a=g_0$, т. е.

$$g_0 = \frac{v_1^2}{R_0}, \quad \text{или} \quad v_1 = \sqrt{g_0 R_0}.$$

Вторую космическую скорость можно определить из теоремы об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме:

$$d\left(\frac{mv^2}{2}\right) = -F \cdot dR,$$

где элементарное перемещение dR возьмем положительным. Так как

$$F = mg_0 \frac{R_0^2}{R^2},$$

то

$$d\left(\frac{mv^2}{2}\right) = mg_0 R_0^2 \cdot d\left(\frac{1}{R}\right),$$

или

$$\frac{v^2}{2} = g_0 R_0^2 \ \frac{1}{R} + C_1,$$

где C_1 — постоянная интегрирования.
Пусть при $R=R_0$ $v=v_0$, тогда

$$C_1 = \frac{v_0^2}{2} - g_0 R_0.$$

Когда $v_0=v_2$, т. е. второй космической скорости, то логично положить $R=\infty$, $v=0$; тогда мы получим $C_1=0$, и, следовательно,

$$v_2 = \sqrt{2 g_0 R_0}.$$

Если полет ракеты происходит вблизи поверхности Земли, тогда R мало отличается от R_0 и силу притяжения можно считать постоянной, не зависящей от высоты. Для реактивных самолетов так поступают всегда.

Аэродинамические силы, действующие на ракету в полете, зависят от геометрической формы ракеты, плотности атмосферы и скорости полета. Для большинства современных ракет, имеющих хорошо обтекаемую фор-

му, можно выделить сравнительно небольшую область вблизи скорости звука (так называемую трансзвуковую область), где зависимость аэродинамических сил от скорости полета меняется по законам, еще не открытым теоретически. В трансзвуковой области аэродинамические силы для каждого объекта определяются экспериментально продувками в аэродинамических трубах. Для дозвуковых скоростей полета (примерно до 270—280 м/с) и сверхзвуковых скоростей (от 400 м/с и выше) аэродинамические силы растут пропорционально квадрату скорости.

Для дозвуковых скоростей полета можно *силу лобового сопротивления* ракеты X записать в виде:

$$X = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2,$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления ракеты (отвлеченное число), изменяющийся в зависимости от угла атаки α; ρ — плотность воздуха; S — характерная площадь (площадь крыла у крылатой ракеты или площадь поперечного сечения корпуса безкрылой ракеты); v — скорость полета.

Для сверхзвуковых скоростей полета ($v > 400$ м/с) формула для силы лобового сопротивления структурно остается прежней, но коэффициент лобового сопротивления $C_x^{(1)}$ будет больше C_x в дозвуковой области.

Если ракета летит горизонтально на данной высоте, то произведение $(\frac{1}{2} C_x \rho S)$ будет постоянным и можно силу лобового сопротивления в дозвуковой области представить математически в виде

$$X_1 = k_1 v^2,$$

а в сверхзвуковой области в виде

$$X_2 = k_2 v^2,$$

причем $k_2 > k_1$.

Подъемную силу Y можно записать математически в следующей форме:

$$Y = \frac{1}{2} C_y \rho S v^2,$$

где C_y — коэффициент подъемной силы (отвлеченное число), меняющийся в зависимости от угла атаки α;

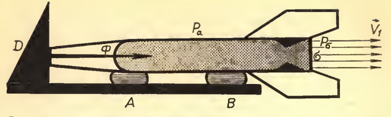


Рис. 17. К определению реактивной силы:

Ф — реакция опоры D, равиая по модулю реактивной силе; σ — площадь выходного сечення сопла реактнвиого двнгателя; p_a — давление в атмосфере; p_σ — давленне в выходном сечеиин струи; V_1 — скорость выбрасываемых из сопла частиц (продуктов горения топлива); A, B — опоры, на которых располагается ракета при стендовых испытаниях.

ρ, S, v имеют те же значения, что и в формуле для силы лобового сопротивления.

Отношение $C_y/C_x=K$ называют *аэродинамическим качеством летательного аппарата*. В дозвуковой и сверхзвуковой областях можно считать качество зависящим только от угла атаки; в трансзвуковой области K сильно убывает (вообще K зависит от скорости полета). Для сверхзвуковых скоростей качество летательного аппарата значительно меньше, чем при дозвуковых скоростях. Так, например, если максимальное аэродинамическое качество дозвукового бомбардировщика может достигать 14—16, то максимальное аэродинамическое качество сверхзвукового бомбардировщика составляет всего 6—6,5.

Для получения математического выражения *реактивной силы* следует воспользоваться теоремой об изменении количества движения механической системы в единицу времени (в одну секунду). Эта теорема утверждает: изменение количества движения механической системы точек в единицу времени равно результирующей всех внешних сил, действующих на систему.

Представим себе камеру реактивного двигателя, расположенную на горизонтальной плоскости. Когда двигатель работает, то продукты химической реакции горения в камере выбрасываются через сопло с некоторой скоростью V_1, сила давления дна камеры на опору D (рис. 17) и есть реактивная сила. Обозначим эту силу Ф. Пусть через сопло площадью σ в одну секунду выбрасывается M_1 горячих газов, секундное количество движе-

ния которых M_1V_1. Результирующую всех внешних сил, действующих на камеру двигателя, можно подсчитать следующим образом: пусть давление в струе истекающих газов на единицу площади среза сопла будет $p_э$, а атмосферное давление вне струи p_a, тогда суммарная сила давления будет $\sigma(p_э - p_a)$. На основании теоремы об изменении количества движения в единицу времени получим:

$$M_1V_1 = \Phi - \sigma(p_э - p_a),$$

откуда

$$\Phi = M_1V_1 + \sigma(p_э - p_a) = M_1\left[V_1 + \frac{\sigma(p_э - p_a)}{M_1}\right].$$

Выражение, стоящее в квадратных скобках, называют *эффективной скоростью истечения* и обозначают V_e. Таким образом, *реактивная сила будет равна массовому секундному расходу топлива, умноженному на эффективную скорость истечения струи.* При постоянном секундном расходе массы эффективная скорость истечения зависит только от высоты полета. Построив график реактивной силы Φ в зависимости от высоты полета, мы получим высотную характеристику реактивного двигателя. Величину V_e/g называют *удельным эффективным импульсом* или *удельной тягой.* Физически удельный импульс определяет тягу двигателя при сжигании одного килограмма топливной смеси в секунду. Чем лучше реактивное топливо, чем совершеннее конструкция двигателя, тем больший удельный импульс мы получаем. Хорошие современные жидкостные реактивные двигатели имеют удельную тягу в вакууме порядка 3500 и даже 4000 Н на килограмм топлива в секунду. В теории реактивных двигателей доказывается, что V_e является функцией температуры газа в камере сгорания, свойств газа (относительной молекулярной массы и отношения теплоемкостей $\frac{C_p}{C_v}$) и отношения площади среза сопла σ к площади его критического (обычно минимального) сечения.

В последние 10—15 лет получили широкое применение ракетные двигатели на твердом топливе. Технология производства этих двигателей стала столь совершенной,

что в США, например, изготовляют пороховые цилиндрические шашки диаметром до 3 м. Шашка твердого топлива обычно крепится к корпусу камеры сгорания. В середине шашки находится канал, поперечное сечение которого имеет обычно форму звезды. Твердое топливо (например, порох) горит по внутренней поверхности канала. Звездообразная форма поперечного сечения канала обеспечивает меньшие колебания значения реактивной силы, так как секундные расходы (сгорающей массы пороха) пропорциональны поверхности горения.

Твердое топливо, прикрепленное к стенкам камеры сгорания, защищает их от горячих газов. Большие трудности возникают при конструировании сопла, так как оно не изолировано слоем топлива. Потребовалось создание специальных тугоплавких материалов, термостойких покрытий и испаряющихся покрытий (абляционное охлаждение).

К преимуществам реактивных двигателей на твердом топливе можно отнести:

высокую надежность как следствие простоты конструкции;

возможность длительного хранения и связанную с этим постоянную готовность к запуску;

возможность получения очень больших (кратковременных) сил тяги;

безопасность в обращении из-за отсутствия токсичных веществ в топливе;

большую плотность топлива (1,5—2,2 г/см^3).

Важнейшими недостатками двигателей на твердом топливе являются:

меньший (по сравнению с жидкостными реактивными двигателями) удельный импульс;

ограничение количества топлива размерами камеры сгорания;

трудности (теперь уже преодоленные), связанные с регулированием вектора реактивной силы.

Циолковский в своих работах дал решение важнейших задач ракетодинамики для прямолинейных движений ракет.

Первая задача Циолковского решается в предположении, что гравитационные и аэродинамические силы отсутствуют. Ее решение приводит к формуле Циолковского для скорости ракеты (см. с. 62). Эта формула по-

казывает теоретические возможности реактивного способа сообщения движения без учета потерь скорости, которые обусловливаются силами тяготения и лобового сопротивления (при вертикальном взлете ракеты с поверхности Земли).

Во второй задаче ракетодинамики, решенной К. Э. Циолковским, исследуется прямолинейный вертикальный взлет (подъем) ракеты с учетом силы тяжести. Предполагая, что активный участок траектории невелик по сравнению с радиусом Земли, можно считать поле силы тяжести однородным и ускорение свободного падения постоянным, равным его значению на поверхности Земли. В этом случае скорость ракеты на активном участке полета будет определяться по формуле:

$$v_{\text{ракеты}} = v_1 - v_2,$$

где v_1 — скорость, определяемая по формуле Циолковского без учета силы тяжести и силы лобового сопротивления, а v_2 — скорость «съедаемая» (или теряемая) из-за действия силы тяжести. Как известно из курса элементарной физики, $v_2 = gt$, где g — ускорение свободного падения, а t — время полета ракеты, отсчитываемое от момента старта. Таким образом,

$$v_{\text{ракеты}} = V_e \ln \frac{M_0}{M} - gt.$$

Весьма интересный случай вертикального взлета ракеты будет иметь место, когда реактивная сила пропорциональна массе ракеты. При этом условии масса ракеты в полете на активном участке траектории изменяется (убывает) по показательному закону вида:

$$M = M_0 e^{-\alpha t}.$$

Секундный расход массы

$$\left(-\frac{dM}{dt}\right) = \alpha M_0 e^{-\alpha t} = \alpha M,$$

и поэтому $\alpha = \dfrac{\left(-\dfrac{dM}{dt}\right)}{M}$. Таким образом, α есть удельный секундный расход массы топлива.

Ускорение, обусловленное действием реактивной си-

лы, в этом случае постоянно и равно αV_e. В однородном поле силы тяжести ракета будет двигаться по траектории с постоянным ускорением $(\alpha V_e - g)$. Очевидно, чем меньше параметр α, тем меньше реактивная сила и тем больше время горения имеющегося запаса топлива. Чем больше α, тем больше реактивная сила, тем форсированнее работает двигатель, тем меньше время полета на активном участке.

Естественно, возникает мысль о наилучшем выборе параметра α. Этот наилучший, или оптимальный, выбор значения α (т. е. значения реактивной силы при $V_e=\text{const}$) называют обычно *оптимальным программированием значения реактивной силы*. Выбор оптимального α зависит от конкретных требований к некоторым суммарным летным характеристикам ракеты. Так, например, можно искать оптимальное значение α, при котором *общая высота подъема ракеты над поверхностью Земли* (она складывается из активного и пассивного участков траектории) *будет наибольшей при данном запасе топлива*. Результат решения задачи показывает, что максимальная высота, достигаемая ракетой, получается в том случае, если мгновенно выбросить весь запас топлива со скоростью V_e (так называемое мгновенное сгорание). В этом случае

$$H = \frac{V_z^2}{2g},$$

где $V_z = V_e \ln \frac{M_0}{M_k}$ — скорость, определяемая по формуле Циолковского.

Указанный результат можно подтвердить простыми физическими соображениями. В самом деле, если в течение весьма малого промежутка времени происходит отбрасывание всего запаса топлива, тогда реактивная сила во много раз превосходит силу тяжести и этой последней можно просто пренебречь. Но в этом случае скорость определяется формулой Циолковского, а вся траектория полета будет пассивным участком. Пассивный участок ракета пролетит в однородном поле силы тяжести, и высоту подъема можно вычислить по формуле:

$$H = \frac{v_0^2}{2g}$$

(в нашем случае $v_0 = V_z$).

Если бы мы желали выбрать оптимальное значение α, обеспечивающее *максимальную высоту активного участка,* то, как показывают вычисления, получили бы:

$$\alpha_{\text{опт}} = \frac{2g}{V_e},$$

откуда

$$\alpha_{\text{опт}} V_e = 2g.$$

Из этих формул вытекает, что максимальный активный участок полета при заданном запасе топлива будет обеспечиваться в том случае, когда ускорение, обусловленное реактивной силой, ровно в два раза превосходит ускорение g. Длина активного участка в этом случае равна:

$$L_{\text{акт}} = \frac{V_z^2}{8g},$$

а полная высота подъема $H_2 = \frac{V_z^2}{4g}$.

Таким образом, увеличение длины активного участка полета (или, иначе, уменьшение реактивной силы) приводит к существенной потере суммарной высоты подъема ракеты над поверхностью Земли. Практически этот вывод означает, что если на участке разгона ракета поднялась на значительную высоту (порядка 80—100 км), где сила сопротивления ничтожно мала, то оставшийся в ракете запас топлива целесообразно расходовать быстрее, если мы желаем получить максимальную высоту подъема или максимальную дальность полета.

Отношение $\frac{\alpha V_e}{g} = n$ дает перегрузку, обусловленную реактивной силой. Полная высота подъема при перегрузке, равной n, выражается весьма просто через $H_{\text{макс}}$ и n. Соответствующая расчетная формула имеет вид:

$$H_n = H_{\text{макс}} \frac{n-1}{n}.$$

Из этой формулы следует, что при перегрузке $n=2$ мы теряем половину возможной высоты подъема за счет очень медленного расходования имеющегося запаса топлива, при $n=4$ — 25%, а при $n=50$ — всего 2%.

Суть дела здесь состоит в том, что при увеличении времени горения мы должны поддерживать ракету в поле тяжести на активном участке большее время. Преодоление силы тяжести требует расхода топлива. Если n стремится к бесконечности (время горения топлива — к нулю), тогда потерь на преодоление сил тяжести на активном участке нет и $H_n = H_{\text{макс}}$.

Циолковский в своих трудах рассматривал также *задачу о вертикальном подъеме ракеты в сопротивляющейся среде* (атмосфере), учитывая все три силы: реактивную, силу тяжести и силу лобового сопротивления. В этом более сложном случае можно приближенно для наглядности написать скорость ракеты на активном участке полета в следующем виде: $v_{\text{ракеты}} = v_1 - v_2 - v_3$, где v_1 — скорость, определяемая по формуле Циолковского и равная $V_e \ln \frac{M_0}{M}$; v_2 — скорость, снимаемая действием силы тяжести и равная gt; v_3 — скорость, снимаемая действием силы лобового сопротивления. Подсчет этой скорости связан с существенными математическими трудностями.

Однако в ряде случаев можно потребовать такой работы реактивного двигателя, при которой скорость ракеты будет в каждой точке активного участка вполне определенной, а сила лобового сопротивления при этой скорости равной весу ракеты в данный момент времени (задача Г. Оберта). При таком программировании реактивной силы суммарная сила, препятствующая подъему ракеты, будет равна удвоенному весу ракеты, а $v_3 = gt$. В этом частном случае скорость ракеты можно подсчитать по формуле:

$$v_{\text{ракеты}} = V_e \ln \frac{M_0}{M} - 2gt.$$

Если, кроме того, масса ракеты будет изменяться по показательному закону, то ракета будет двигаться на активном участке с постоянным ускорением ($\alpha V_e - 2g$).

Следует указать, что в первые десятилетия XX в. знания о силах сопротивления при больших (сверхзвуковых) скоростях были весьма ограниченными и основные расчеты, выполненные Константином Эдуардовичем для определения v_3, могут рассматриваться в наши дни как первое (грубое) приближение.

Из существенных достижений К. Э. Циолковского по ракетодинамике следует отметить его расчеты летных характеристик многоступенчатых ракет[1]. Особенный интерес имеет случай ракетного поезда, у которого приращение скоростей от каждой ступени будет одинаковым. В этом случае массы последовательных ракет, входящих в поезд, будут расти в геометрической прогрессии. Теперь строго математически доказано, что такая многоступенчатая ракета является оптимальной и обеспечивает максимальную высоту (или максимальную дальность) полета[2].

Учитывая, что с увеличением стартовой массы ракеты реактивная сила и сила тяжести растут пропорционально кубу характерного размера объекта, а сила сопротивления — лишь пропорционально квадрату этого размера, можно при эскизном проектировании с достаточной точностью определить летные характеристики больших ракет, принимая во внимание только силу тяжести и реактивную силу. Поэтому в наши дни вторая задача Циолковского в неоднородном гравитационном поле приобретает особо важное значение.

В современной ракетодинамике рассмотренные нами задачи Циолковского являются простейшими, так как в этих задачах траектория центра масс ракеты принимается прямолинейной, а влияние систем управления на летные характеристики вообще не рассматривается. У большинства современных реактивных объектов системы управления полетом ракеты есть системы управления на расстоянии (системы телеуправления), и их влияние на летные характеристики является определяющим (мы имеем в виду ракеты классов: «земля — воздух», «воздух — воздух»[3]).

---

[1] Отметим, что многоступенчатые фейерверочные ракеты были известны еще в XVII столетии, но строгую математическую теорию движения многоступенчатых ракет впервые дал К. Э. Циолковский. В 1926 г. он дал теорию полета двухступенчатой ракеты с последовательным отделением ступеней, в 1929 г. — теорию n-ступенчатой ракеты ($n=2, 3, 4, \ldots$), в 1935 г. — теорию многоступенчатых ракет с параллельным делением (эскадрильи ракет).

[2] Краткая теория многоступенчатых ракет дана в кн. *Ферт-регт М.* Основы космонавтики. М., 1969, с. 135—157.

[3] Ракеты «земля — воздух» — это зенитные управляемые ракеты, а «воздух — воздух» — ракеты, предназначенные для стрельбы с самолета (вертолета) по самолету.

В самом общем случае система управления полетом ракеты состоит из следующих элементов:

а) приборов и устройств телеуправления, которые вырабатывают (вычисляют) и передают по радиолиниям команды управления полетом; эти команды изменяют процессы в аппаратуре управления на борту ракеты (например, изменяют положение рулей ракеты, включают реактивные двигатели, изменяют передаточные числа по каналам автопилота и ряд других функций) таким образом, чтобы обеспечить наведение ракет на цель;

б) приборов и устройств стабилизации ракеты и автоматического выполнения в определенной последовательности принимаемых команд радиоуправления полетом. Главным прибором на борту ракеты, обеспечивающим стабилизацию в полете и воздействие на органы управления (рули, элероны, интерцепторы, управляющие двигатели), является автопилот;

в) приборов и устройств телеконтроля. Обычно системы телеконтроля дают информацию о положении цели и ракеты, а также информацию о функционировании агрегатов ракеты.

Взаимодействие главных элементов системы управления схематически можно представить, рассмотрев, например, полет зенитной управляемой ракеты, предназначенной для поражения вражеского самолета.

Комплекс средств телеконтроля (на первой стадии средства телеуказания) фиксирует на командном пункте текущие координаты цели. Если цель входит в боевую зону данной ракеты, то осуществляется старт ракеты, а в дальнейшем средства телеконтроля дают одновременно текущие координаты цели и ракеты, что позволяет знать их относительное положение. Если относительное положение цели и ракеты не соответствует требуемому по принятому методу наведения (который обычно выбирается из кинематических условий сближения цели и ракеты), тогда приборы телеуправления вырабатывают и передают бортовым приборам и устройствам ракеты соответствующие команды, назначение которых вывести ракету на траекторию метода наведения и обеспечить поражение цели.

Важнейшими характеристиками элементов комплекса системы управления являются *устойчивость системы* (или частей системы) и *«реакция» системы на внешние*

воздействия. Следует отметить, что внешние воздействия на некоторые элементы системы управления могут математически представиться случайными функциями времени, исследование «реакции» системы управления в этом случае требует основательного знакомства с теорией вероятностных процессов.

Для управления движением оперативно-тактических баллистических ракет (дальностью полета до 4000—5000 км) и межконтинентальных баллистических ракет (дальность полета 10 000 км и более) обычно применяют так называемые автономные системы. Главная задача автономной системы управления полетом состоит в том, чтобы движение ракеты шло по заданной программе.

Чтобы баллистическая ракета (или ее головная часть) попала в заданную цель, необходимо обеспечить в конце активного участка вполне определенный вектор скорости центра масс и вполне определенные координаты относительно места старта. Это требование еще более усложняет систему управления движением ракеты. Указанный класс задач ракетодинамики привел к созданию новых областей промышленности и способствовал развитию новых методов в теоретической и прикладной механике.

Более сложные движения управляемых ракет потребовали, конечно, развития идей К. Э. Циолковского, но последующий прогресс ракетодинамики показывает глубину и величие исследований Константина Эдуардовича, правильно отразившего главные особенности движения ракет.

В последние годы своей жизни К. Э. Циолковский много работал над созданием *теории полета реактивных самолетов*. В его статье «Реактивный аэроплан» (1930) подробно выясняются преимущества и недостатки реактивного самолета по сравнению с самолетом, снабженным воздушным винтом. Указывая на большие секундные расходы горючего в реактивных двигателях как на один из самых существенных недостатков, Циолковский писал: «...наш реактивный аэроплан убыточнее обыкновенного в 5 раз. Но вот он летит вдвое скорее там, где плотность атмосферы в 4 раза меньше. Тут он будет убыточнее только в 2,5 раза. Еще выше, где воздух в 25 раз реже, он летит в 5 раз скорее и уже использует энергию так же успешно, как винтовой самолет. На вы-

соте, где среда в 100 раз реже, его скорость в 10 раз больше и он будет выгоднее обыкновенного аэроплана в 2 раза».

Эту статью Циолковский заканчивает замечательными словами, показывающими глубокое понимание законов развития техники: *«За эрой аэропланов винтовых должна следовать эра аэропланов реактивных, или аэропланов стратосферы»*[1]. Отметим, что эти строки написаны за 10 лет до того, как первый реактивный самолет, построенный в Советском Союзе, поднялся в воздух.

В работах «Ракетоплан» и «Стратоплан полуреактивный» (1932) Циолковский дает первые наброски теории движения самолета с жидкостным реактивным двигателем и развивает идею турбокомпрессорного винтового реактивного самолета.

Характеризуя свои работы по аэронавтике, ракетной технике и космонавтике, Циолковский писал: «Ценность моих работ состоит главным образом *в вычислениях и вытекающих отсюда выводах*. В техническом же отношении мною почти ничего не сделано. Тут необходим длинный ряд опытов, сооружений и выучки. Этот практический путь и даст нам техническое решение вопроса. Длинный путь экспериментального труда неизбежен»[2].

Мы кратко указали здесь основные направления глубоких теоретических исследований Циолковского по ракетодинамике. Заслуга Константина Эдуардовича состоит в том, что *он сделал подвластными точному математическому анализу и инженерному расчету совершенно новые явления*. Тысячи и миллионы людей наблюдали пороховые ракеты на фейерверках и иллюминациях, и, однако, никто до Циолковского не дал количественных характеристик законов движения ракет.

Ракетодинамика — наука XX столетия. Основные принципы этой науки — в значительной степени создание К. Э. Циолковского.

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 338 (курсив мой. — *А. К.*).

[2] *Циолковский К. Э.* Реактивные летательные аппараты. М., 1964, с. 289.

Глава V.

РАБОТЫ ПО ТЕОРИИ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Двигатели прогресса — это люди, открывающие законы природы, раскрывающие тайны Вселенной, свойства материи. Объясняющие космос, как сложный автомат, сам производящий свое совершенство. ...Это люди, ведущие все человечество и все живое к счастью, радости и познанию.

К. Э. Циолковский

Современная теория движения ракет, космических кораблей и летательных аппаратов достигла высокой степени совершенства. В наши дни ученые и инженеры могут с большой точностью проектировать нужные для осуществления полета траектории, корректировать их в процессе движения, производить маневрирование, стыковку и мягкую посадку по заранее рассчитанным программам.

Выдающимся достижением советской космонавтики в 1978 г. явился запуск грузовых, автоматически управляемых кораблей «Прогресс», которые «находили» в околоземном космическом пространстве орбитальные комплексы «Салют-6» — «Союз», производили стыковку и обеспечивали всем необходимым последующую работу космонавтов, находящихся на орбите.

Все более широкое применение получают искусственные спутники Земли, решающие народнохозяйственные задачи (для нужд геологии, картографии, геодезии, радиосвязи, телевидения и др.).

Спутники теперь широко используются для глобальных прогнозов погоды, астрономических наблюдений, определения ледовой обстановки, места лесных пожаров, разведки косяков рыбы в океанах и др.

Мирное использование космической техники было доминирующим устремлением всех исследований

К. Э. Циолковского по космонавтике. Он мечтал о более полном и универсальном использовании человечеством солнечной энергии. Он убеждал в своих статьях о великих преимуществах жизни человека в искусственной атмосфере с устанавливаемой по желанию температурой, в условиях невесомости. Кольца искусственных поселений на громадных орбитальных станциях (маленьких островках жизни), расположенных вокруг Солнца, стояли перед его умственным взором.

Он писал в 1903 г.: «...в качестве исследователя атмосферы предлагаю реактивный прибор, т. е. род ракеты, но ракеты грандиозной и особенным образом устроенной. Мысль не новая, но вычисления, относящиеся к ней, дают столь замечательные результаты, что умолчать о них было бы недопустимо. Эта моя работа[1] («Исследование мировых пространств реактивными приборами». — *А. К.*) далеко не рассматривает всех сторон дела и совсем не решает его с практической стороны относительно осуществимости, но в далеком будущем уже виднеются сквозь туман перспективы до такой степени обольстительные и важные, что о них едва ли теперь кто мечтает».

Вопрос о реальном осуществлении межпланетных путешествий интересовал Циолковского с самого начала его самостоятельной научной деятельности. Наивные юношеские мечты, систематический анализ процессов простейших механических явлений в пространстве без действия сил (в свободном пространстве, по терминологии Циолковского), затем тщательная математическая разработка идеи реактивного движения с подробным количественным анализом прямолинейных движений и, наконец, теория полета многоступенчатой ракеты, ракеты грандиозной и приспособленной для перемещения людей в космическом пространстве — вот последовательные этапы творческих исканий Константина Эдуардовича, подготовившие научную почву для возникновения новой научной дисциплины — *космонавтики*, или (как иногда называл Циолковский) *звездоплавания*.

Небесный корабль должен быть подобен ракете, говорил Циолковский. В самом деле, «основа действия каждого экипажа и корабля одна и та же: они оттал-

[1] См.: *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 69—99.

кивают какую-нибудь массу в одну сторону, а сами от этого двигаются в противоположную. Пароход отталкивает воду, дирижабль и аэроплан — воздух, человек и лошадь — земной шар. Ракета заключает в самой себе вещества для отброса». Это компоненты топлива: горючее плюс окислитель. Для создания движения ракете не нужна внешняя среда (внешняя опора). В вакууме увеличение скорости ракеты происходит быстрее, так как не нужно преодолевать силу сопротивления воздуха. «Очевидно, прибор для движения в пустоте должен быть подобен ракете, т. е. содержать не только энергию, но и опорную массу в самом себе». Реактивная сила, развивающаяся при работе реактивного двигателя, может быть использована для любых перемещений в пространстве. Снаряд-ракета в состоянии «удаляться от Земли, блуждать между планетами, между звездами, посещать планеты, их спутники, кольца и другие небесные тела, возвращаться на Землю. Лишь бы было довольно содержащего энергию взрывчатого материала».

Движение ракеты в космическом пространстве определяется законами небесной механики. Ракета для космических путешествий — это новая маленькая планета или астероид, орбита которой определяется человеком. Так как плотные слои атмосферы у планет солнечной системы сосредоточены на малых (по сравнению с радиусом соответствующей планеты) высотах, то при изучении движения ракет в пределах солнечной системы при перелетах с одной планеты на другую нужно в большинстве случаев принимать во внимание только силы тяготения. Для изучения движения искусственных спутников Земли и ракет, предназначенных для достижения (или облета) Луны, в ряде случаев нужно учитывать только поле сил тяготения, обусловленное массой Земли.

Рассмотрим более подробно движение ракеты в поле тяготения Земли. В теоретической механике доказывается, что при некоторых ограничениях движение ракеты (как тела постоянной массы) в поле тяготения Земли будет подчиняться законам Кеплера, открытым, по данным астрономических наблюдений, для описания движений планет солнечной системы. Эти законы утверждают следующее:

1-й закон. *Орбиты планет представляют собой эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце.*

2-й закон. *Радиус-вектор, соединяющий центр Солнца с центром планеты описывает (ометает) в равные времена равные площади.*

3-й закон. *Квадраты времени обращения планет пропорциональны кубам больших полуосей их орбит.*

При изучении движения ракет в поле тяготения Земли центр Земли играет ту же роль, что и центр Солнца для движения какой-либо планеты солнечной системы. Планеты солнечной системы — это спутники Солнца. Ракета, движущаяся в поле тяготения Земли, во многих случаях — это спутник Земли.

Исследования, проведенные в небесной механике, показали, что форма орбиты (форма траектории) спутника существенно зависит от значения и направления его начальной скорости, а также расстояния от притягивающего центра в момент, соответствующий получению этой начальной скорости. Для ракеты за начальную скорость нужно принимать скорость в конце активного участка полета.

Пусть ракета имеет начальную скорость v_0, направленную под углом α к местному горизонту. Тогда под действием силы притяжения к центру Земли она будет описывать траекторию, вид которой зависит от v_0 и α. В общем случае можно лишь утверждать, что траекторией ракеты будет или эллипс, или парабола, или гипербола. Оказывается, что если начальная скорость v_0 меньше 11,2 км/с, то траекторией ракеты будет эллипс; если начальная скорость $v_0=11{,}2$ км/с, то траекторией ракеты будет парабола; если v_0 больше 11,2 км/с, то траекторией будет гипербола. Скорость $v_0=11{,}2$ км/с часто называют второй космической скоростью для планеты Земля или параболической скоростью.

Эллиптические траектории — замкнутые кривые; параболические и гиперболические траектории имеют, как говорят в математике, бесконечно удаленные точки и являются незамкнутыми. Поэтому при эллиптических траекториях ракета или возвращается на Землю, или становится спутником Земли; начиная же со второй

космической скорости ракета не будет возвращаться на Землю, а будет удаляться от нее в сферы тяготения других планет или Солнца.

Для семейства эллиптических траекторий можно сравнительно просто определить наивыгоднейший угол α и наименьшую начальную скорость v_0, обеспечивающие заданную дальность полета на поверхности Земли. В таблице 2 приведены результаты таких вычислений и, кроме того, даны время полета по траектории и максимальное удаление ракеты от поверхности Земли (цифры округлены).

Таблица 2

Основные характеристики оптимальных эллиптических траекторий в поле тяготения Земли

Дальность полета, км	Начальная скорость, м/с	Наивыгоднейший угол бросания,		Максимальное удаление от Земли, км	Время полета,	
		°	′		мин	с
1 100	3270	42	30	266	8	23
3 350	5100	37	30	720	15	57
5 600	6100	32	30	1050	22	6
7 800	6750	27	30	1250	27	39
8 900	7000	25	00	1300	29	58
10 000	7200	22	30	1320	32	14
12 250	7500	17	30	1250	36	7
15 600	7800	10	00	900	40	13

Дальность 10 000 км соответствует приблизительно четверти земного меридиана, и на рисунке 18 эта траектория вычерчена с соблюдением масштаба (при стрельбе с экватора на полюс).

Особый интерес представляют круговые орбиты спутников Земли. Достаточно точное представление о круговых орбитах можно получить из следующих простых рассуждений.

Как было показано в IV главе (см. с. 83), первая космическая скорость спутника, движущегося по круговой орбите на высоте $H=0$ от поверхности Земли определяется формулой:

$$v_1 = \sqrt{g_0 R_0},$$

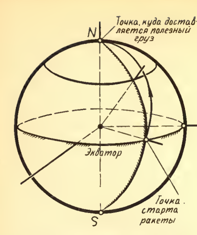


Рис. 18. Оптимальная эллиптическая траектория межконтинентальной ракеты с дальностью полета 10 000 км (влияние атмосферы не учтено).

где R_0 равно радиусу Земли, а g_0 — ускорению свободного падения на ее поверхности. Такой спутник (с высотой полета $H=0$) практически неосуществим. Его реализации помешают леса, горы, атмосфера.

Чтобы рассчитать скорость спутника, движущегося по круговой орбите вокруг Земли, на расстоянии H от ее поверхности, надо учесть, что его центростремительное ускорение равно гравитационному ускорению на данной высоте. Гравитационное ускорение, обусловленное массами частиц Земли, убывает с высотой по закону:

$$g=g_0 \frac{R_0^2}{(R_0+H)^2} = g_0 \frac{R_0^2}{R^2},$$

где H — высота (ракеты или спутника) над поверхностью Земли; R — расстояние от центра Земли. Следовательно,

$$\frac{v^2}{R_0+H} = g_0 \frac{R_0^2}{(R_0+H)^2}.$$

Отсюда находим скорость спутника v:

$$v = \sqrt{g_0 R_0} \sqrt{\frac{R_0}{R_0+H}} \quad \text{или} \quad v = 7912 \text{ м/с} \cdot \sqrt{\frac{R_0}{R_0+H}}. \quad (1.5)$$

По этой формуле можно найти скорость спутника на любой высоте.

Зная, что длина окружности радиуса (R_0+H) равна $2\pi(R_0+H)$, легко определить период T обращения спутника вокруг Земли:

$$T = \frac{2\pi(R_0+H)}{v},$$

или $$T = \frac{2\pi R_0}{7912 \text{ м/с}} \left(\frac{R_0+H}{R_0}\right)^{3/2}.$$

Поскольку

$$\frac{2\pi R_0}{7912 \text{ м/с}} = 5066 \text{ с} = 84 \text{ мин } 26 \text{ с},$$

то

$$T = 84 \text{ мин } 26 \text{с} \cdot \left(\frac{R_0+H}{R_0}\right)^{3/2}. \qquad (2.5)$$

Формулы (1.5) и (2.5) показывают, что с увеличением высоты орбитальная скорость спутника уменьшается, а период его обращения увеличивается. Формула (2.5) дает математическое выражение третьего закона Кеплера.

В таблице 3 даны значения скоростей спутников Земли, обращающихся на разных высотах по круговым орбитам, периоды их обращения и указана величина (в процентах) видимой со спутника части поверхности Земли. Первая строка этой таблицы имеет чисто теоретическое значение.

Таблица 3

Высота спутника над поверхностью Земли, км	Скорость спутника, м/с	Период обращения спутника			Величина видимой поверхности Земли со спутника (в %) от общей поверхности Земли
		ч	мин	с	
0	7912	1	24	26	0
200	7791	1	28	26	1,5
400	7675	1	32	30	3
1000	7356	1	45	02	7
3000	6525	2	30	31	16
6000	5679	3	48	18	25

Исходя из формулы (2.5), можно найти высоту H для такого искусственного спутника Земли, у которого время обращения равно 24 ч (так называемый стационарный спутник).

Вычисления дают: $H \approx 35\,810$ км.

Видимая поверхность Земли со стационарного спутника достигает 42,6%.

Что же необходимо человечеству для получения пер-

вой и второй космических скоростей? *Ответ на этот вопрос дает формула Циолковского.* Как мы указывали, из формулы следуют два пути для получения больших скоростей полета ракеты:

1) увеличение относительной скорости отбрасывания частиц;

2) увеличение отношения стартовой массы ракеты к массе ракеты без топлива.

Циолковский подверг тщательному анализу методы получения больших относительных скоростей отброса частиц. Если конструкция двигателя выбрана рационально, то увеличение скорости истечения определяется компонентами топлива. Константин Эдуардович много занимался исследованием топлив для реактивных двигателей. Он выявил основные требования к топливам, которыми до сих пор руководствуются и ученые, и инженеры. Вот итог его изысканий, сформулированный в последние годы жизни:

«Элементы взрывчатых веществ для реактивного движения должны обладать следующими свойствами:

1. На единицу своей массы при горении они должны выделять максимальную работу.

2. Должны при соединении давать газы или летучие жидкости, обращающиеся от нагревания в пары.

3. Должны при горении развивать возможно низкую температуру, чтобы не сжечь или не расплавить камеру сгорания.

4. Должны занимать небольшой объем, т. е. иметь возможно бóльшую плотность.

5. Должны быть жидкими и легко смешиваться. Употребление же порошков сложно.

6. Они могут быть и газообразны, но иметь высокую критическую температуру и низкое критическое давление, чтобы удобно было их употреблять в сжиженном виде»[1].

Циолковский рассмотрел большое число различных окислителей и горючих и отобрал для практического применения лучшие из них. В частности, он рекомендовал для реактивных двигателей следующие топливные пары:

жидкий водород и жидкий кислород,

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 371.

керосин и жидкий кислород,
спирт и жидкий кислород,
метан и жидкий кислород.

В работах по окислителям для жидкостных реактивных двигателей Циолковский указывал на возможность еще большего увеличения скоростей истечения, если в качестве окислителя принять озон[1]. Рекомендованные Циолковским компоненты топлива — спирт и жидкий кислород — были широко использованы в Германии при создании реактивного двигателя ракеты ФАУ-2.

Таблица[1] 4

Топливная пара (окислитель + горючее)	Давление в камере сгорания, атм	Отношение массы окислителя к массе горючего	Удельный импульс, с	Абсолютная температура, К	Эффективная скорость отбрасываемых частиц (цифры округленные), м/с	Относительная плотность топливной смеси (по отношению к плотности воды)
Жидкий кислород + бензин	21	2,5	242	3020	2380	0,965
Жидкий кислород + гидразин	21	0,5	259	2482	2540	1,05
Жидкий кислород + керосин	21	2,2	248	3077	2440	1,01
Жидкий кислород + 100%-ный метиловый спирт	21	1,25	238	2860	2340	0,895
Жидкий фтор + гидразин	21	1,9	299	4165	2940	1,31
Азотная кислота + анилин	21	3,0	221	2770	2170	1,37
Азотная кислота + фурфуриловый спирт	21	1,9	214	2770	2100	1,37
Жидкий кислород + жидкий водород	35	3,5	364	2482	3570	0,26

[1] Данные в таблице взяты из книги: *Sutton, G. P.* Rocket Propulsion Elements N. Y., 1956.

[1] Озон ядовит, вызывает самовоспламенение ряда жидких и твердых горючих, нестабилен и весьма взрывоопасен, поэтому расчеты Циолковского имеют пока чисто теоретическое значение.

В современной ракетной технике качество применяемых топлив для реактивных двигателей оценивается главным образом по удельному импульсу. Исследуя различные конструкции жидкостных и пороховых реактивных двигателей, можно показать, что при достаточно общих предположениях удельный импульс пропорционален $\sqrt{T/\mu}$, где T — абсолютная температура в камере сгорания, а μ — молекулярная масса топливной смеси.

В таблице 4 даны основные характеристики некоторых топливных пар (горючего и окислителя), применяющихся в созданных реактивных двигателях или находящихся в разработке.

Следует иметь в виду, что удельный импульс, а следовательно, и относительная скорость истечения продуктов сгорания возрастают с увеличением давления в камере реактивного двигателя. Одновременно с увеличением давления растет и температура. Легко понять, что увеличение давления будет выгодно только в определенных пределах, так как вес двигателя и трудности, связанные с охлаждением его стенок, возрастают с увеличением давления в камере сгорания. Кроме того, при высоких температурах в реактивных двигателях возникает явление диссоциации (разложение молекул на более простые молекулы или атомы). Диссоциация обычно вызывает понижение удельного импульса.

Для оценки максимальных возможностей, доставляемых современной химией, примем $V_e = 4000$ м/с. Тогда из формулы Циолковского следует, что для получения первой космической скорости необходимо, чтобы

$$\ln \frac{M_0}{M_k} = \frac{v_{\text{макс}}}{V_e}, \text{ т.е. } \ln \frac{M_0}{M_k} = \frac{8000 \text{ м/с}}{4000 \text{ м/с}} = 2.$$

По таблицам натуральных логарифмов находим, что

$$\frac{M_0}{M_k} = 7{,}4, \quad \text{или} \quad M_k = \frac{M_0}{7{,}4},$$

т. е. масса пустой ракеты (без топлива) должна составлять примерно 14% от ее стартовой массы. Такую одноступенчатую ракету создать возможно и, следовательно, в перспективе, искусственные спутники Земли можно будет запускать при помощи одноступенчатых ракет.

Для второй космической скорости при $V_e = 4000$ м/с формула Циолковского дает:

$$\ln \frac{M_0}{M_k} = \frac{11\,200 \text{ м/с}}{4000 \text{ м/с}} = 2{,}8.$$

По таблицам натуральных логарифмов находим, что в этом случае

$$\frac{M_0}{M_k} = 16{,}5, \quad \text{или} \quad M_k = \frac{M_0}{16{,}5},$$

т. е. масса пустой ракеты (без топлива) должна составлять примерно 6% от ее стартовой массы. Такую одноступенчатую ракету при известных в наши дни конструкционных материалах создать весьма трудно (а при ограниченной стартовой массе просто невозможно). Совершенно новые возможности открылись бы перед конструкторами, если химикам удалось бы получить более высокие скорости истечения. Некоторые, пока чисто теоретические возможности выявляются в наши дни в области так называемых атомарных топлив. В химии хорошо известно, например, что при превращении атомарного водорода H в молекулу H_2 выделяется огромное количество теплоты (около 51 000 ккал на 1 кг рекомбинирующего атомарного водорода). Такая теплотворная способность атомарного водорода делает реальной скорость истечения $V_e = 10\,000$ м/с. К сожалению, консервация атомарного водорода и управление процессом рекомбинации пока не достигнуты, и проблема его освоения в реактивных двигателях — дело, по-видимому, далекого будущего.

При использовании атомарного водорода для получения первой космической скорости необходимо иметь:

$$\frac{M_0}{M_k} = 2{,}2, \quad \text{или} \quad M_k = \frac{M_0}{2{,}2},$$

а для получения второй космической скорости

$$\frac{M_0}{M_k} = 3{,}06, \quad \text{или} \quad M_k = \frac{M_0}{3{,}06}.$$

Многоступенчатые ракеты, предложенные Циолковским в 1929 г., дают реальные основания для получения первой и второй космических скоростей при доста-

точно скромных (уже достигнутых) значениях удельных импульсов.

Приведем здесь некоторые данные, полученные К. Э. Циолковским в 1934—1935 гг. для так называемых эскадрилий ракет.

Предположим, что мы имеем много совершенно одинаковых ракет, каждая с отношением $M_0/M_k = 5$. Пусть эффективная относительная скорость отбрасывания частиц V_e у всех ракет эскадрильи одинакова и равна 3000 м/с. «С помощью эскадрильи этих ракет путем переливания запасов топлива мы можем получить высшие скорости, которых одна ракета получить не может. Переливание, например, бензина из одного аэроплана в другой — вещь не только возможная, но и бывалая»[1].

Применяя последовательно формулу Циолковского, мы получим следующую таблицу[2]:

Число ракет в эскадрилье	1	2	4	8	16	32	64	128	256
Скорость последней ракеты после израсходования всего топлива, м/с	4827	6361	7895	9429	10962	12497	14031	15565	17099

Циолковский первый научно обосновал возможность получения космических скоростей полета при помощи многоступенчатых ракет и строго математически доказал реальность межпланетных путешествий. 50 лет прошло со дня опубликования бессмертной работы основоположника теории межпланетных путешествий К. Э. Циолковского («Космические ракетные поезда», 1929), и полученный за это время научно-технический опыт подтвердил правильность его идей.

Вот некоторые мысли Константина Эдуардовича о ракетных полетах: «Сначала можно летать на ракете во-

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 424.
[2] Там же, с. 426.

круг Земли, затем можно описать тот или иной путь относительно Солнца, достигнуть желаемой планеты, приблизиться или удалиться от Солнца, упасть на него или уйти совсем, сделавшись кометой, блуждающей многие тысячи лет во мраке среди звезд, до приближения к одной из них, которая сделается для путешественников или их потомков новым Солнцем. Человечество образует ряд межпланетных баз вокруг Солнца, использовав в качестве материала для них блуждающие в пространстве астероиды (маленькие планеты, которые в большом числе имеются в нашей солнечной системе. — *А. К.*). Реактивные приборы завоюют людям беспредельные пространства и дадут солнечную энергию, в два миллиарда раз бо́льшую, чем та, которую человечество имеет на Земле».

Вот план завоевания мировых пространств, который наметил и страстно пропагандировал К. Э. Циолковский:

«Обыкновенно идут от известного к неизвестному: от швейной иглы к швейной машине, от ножа к мясорубке, от молотильных цепов к молотилке, от коляски к автомобилю, от лодки к кораблю. Так и мы думаем перейти от аэроплана к реактивному прибору для завоевания солнечной системы. Мы уже говорили, что ракета, летя сначала неизбежно в воздухе, должна иметь некоторые черты аэроплана. Но мы уже доказывали, что в нем непригодны колеса, воздушные винты, мотор, проницаемость помещения для газов, обременительны крылья. Все это мешает ему получать скорость, бо́льшую 200 м/с, или 720 км/ч. Самолет должен быть преобразован, он не будет пригоден для целей воздушного транспорта [1], но постепенно станет пригоден для космических путешествий... Вот грубые ступени развития и преобразования аэропланного дела для достижения высших целей.

1. Устраивается реактивный самолет с крыльями и обыкновенными органами управления. Но бензиновый мотор заменен взрывной трубой (т. е. реактивным двигателем. — *А. К.*), куда накачиваются взрывные вещества (слабосильным двигателем). Воздушного винта нет.

---

[1] Современное состояние гражданской авиации не подтверждает этого высказывания К. Э. Циолковского.

Человечество не останется вечно на земле, но, в погоне за светом и пространством, сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околосолнечное пространство

К. Циолковский

Из письма К. Э. Циолковского к Б. Н. Воробьеву (1911 г.).

Есть запас взрывчатых материалов, и остается помещение для пилота, закрытое чем-нибудь прозрачным, так как скорость такого аппарата больше аэропланной и сквозняк невыносим. Этот прибор от реактивного действия взрывания покатится на полозьях по смазанным рельсам (ввиду небольшой начальной скорости могут остаться и колеса). Затем поднимется на воздух, достигнет максимума скорости, потеряет весь запас взрывчатых веществ и, облегченный, начнет планировать как обыкновенный или безмоторный аэроплан, чтобы безопасно спуститься на сушу. ...Количество взрывчатых веществ и силу взрывания надо понемногу увеличивать, также максимальную скорость, дальность, а главное — высоту полета. Ввиду проницаемости для воздуха человеческого помещения в самолете высота, конечно, не может быть больше известной рекордной высоты. Достаточно и 5 км поднятия. Цель этих опытов — уменье управлять аэропланом (при значительной скорости движения), взрывной трубой и планированием.

2. Крылья последующих самолетов надо понемногу уменьшать, силу мотора и скорость увеличивать. Придется прибегнуть к получению предварительной, до

взрывания, скорости с помощью описанных ранее средств.

3. Корпус дальнейших аэропланов следует делать непроницаемым для газов и наполненным кислородом, с приборами, поглощающими углекислый газ, аммиак и другие продукты выделения человека. Цель — достигать любого разрежения воздуха. Высота может много превосходить 12 км. В силу большой скорости при спуске для безопасности его можно делать на воду. Непроницаемость корпуса не даст ракете потонуть.

4. Принимаются описанные мною рули, действующие отлично в пустоте и в очень разреженном воздухе, куда залетает снаряд. Пускается в ход бескрылый аэроплан, сдвоенный или строенный, надутый кислородом, герметически закрытый, хорошо планирующий. Он требует для поднятия на воздух большой предварительной скорости и, стало быть, усовершенствования разбежных приборов. Прибавочная скорость даст ему возможность подниматься все выше и выше.

5. Скорость достигает 8 км/с, центробежная сила вполне уничтожает тяжесть, и ракета впервые заходит за пределы атмосферы. Полетавши там, насколько хватает кислорода и пищи, она все же спирально возвращается на Землю, тормозя себя воздухом и планируя без взрывания.

6. После этого можно употреблять корпус простой, несдвоенный. Полеты за атмосферу повторяются. Реактивные приборы все более и более удаляются от воздушной оболочки Земли и пребывают в эфире все дольше и дольше. Все же они возвращаются, так как имеют ограниченный запас пищи и кислорода.

7. Делаются попытки избавиться от углекислого газа и других человеческих выделений с помощью подобранных мелкорослых растений, дающих в то же время питательные вещества. Над этим много работают и медленно, но все же достигают успеха.

8. Устраиваются эфирные скафандры (одежда) для безопасного выхода из ракеты в эфир.

9. Для получения кислорода, пищи и очищения ракетного воздуха придумывают особые помещения для растений. Все это в сложенном виде уносится ракетами в эфир и там раскладывается и соединяется. Человек до-

стигает большой независимости от Земли, так как добывает средства жизни самостоятельно.

10. Вокруг Земли устраиваются обширные поселения.

11. Используют солнечную энергию не только для питания и удобства жизни (комфорта), но и для перемещения по всей солнечной системе.

12. Основывают колонии в поясе астероидов и других местах солнечной системы, где только находят небольшие небесные тела.

13. Развивается промышленность, и увеличивается число колоний.

14. Достигается индивидуальное (личности, отдельного человека) и общественное (социалистическое) совершенство.

15. Население солнечной системы делается в сто тысяч миллионов раз больше теперешнего земного. Достигается предел, после которого неизбежно расселение по всему Млечному Пути.

16. Начинается угасание Солнца. Оставшееся население солнечной системы удаляется от нее к другим солнцам, к ранее улетевшим братьям»[1].

Из огромного идейного богатства работ Циолковского, который последовательно и систематически, в течение более 35 лет, разрабатывал самые важные проблемы теории и техники реактивного движения, легко видеть, что именно ему принадлежит бесспорный приоритет в основании новых наук: *ракетодинамики и космонавтики*.

Изучая исследования Циолковского по ракетодинамике и космонавтике и сравнивая их с более поздними зарубежными работами, можно легко убедиться, что именно в России были созданы теоретические основы расчета движений всех реактивных аппаратов и что Циолковский, зачинатель этих новых научных дисциплин, дал ракетодинамике и космонавтике тот необычный размах и глубину заключений, которые характерны для больших произведений человеческого ума.

Во всех статьях Циолковского по ракетной технике видна самостоятельная, оригинальная исследовательская работа; статьи написаны доступным языком, и математические расчеты служат только для логических

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 258—260.

выводов и заключений, нигде не затемняя технических идей, сформулированных ясно и четко. Как во всяком бессмертном творении, для которого проверка временем только выявляет величие и прогрессивность идей, в работах Циолковского всякий внимательный читатель увидит еще ту замечательную простоту суждений и высокую мудрость проникновения в закономерности природы, которые свойственны классическим сочинениям.

И тем не менее работы Циолковского, написанные до Великой Октябрьской социалистической революции, постигла судьба многих открытий и изобретений, сделанных в царской России. Разные авторы разных стран начали заимствовать идеи Циолковского. В 1913 г. во Франции появилась работа инженера Эсно-Пельтри «Соображения о результатах безграничного уменьшения веса моторов», в которой приводились некоторые формулы ракетодинамики, полученные ранее Циолковским. Но фамилия Циолковского в этой статье даже не упоминалась, хотя Эсно-Пельтри, посетившему в 1913 г. Петербург, показывали работы Константина Эдуардовича.

В 1919 г. профессор Годдард в Америке написал и опубликовал работу по теории прямолинейных движений ракет, где снова была приведена формула Циолковского и поставлена задача об отыскании оптимального режима вертикального подъема ракеты. Годдард ни одной строчки не посвятил результатам Циолковского, хотя к тому времени в России вышло в свет три работы Константина Эдуардовича.

В 1923 г. Оберт в Германии широко популяризовал идею космической ракеты и в своей книге «Ракета в космическое пространство» также не счел нужным привести вычисления и проекты Циолковского, хотя они во многих случаях очень близки к тому, что опубликовал Оберт. Только благодаря широкой кампании в советской прессе и заявлениям ряда видных советских ученых Оберт в частных письмах к Циолковскому вынужден был признать его приоритет в разработке ракет для космических полетов. Вот выдержки из этих писем: «...я только сожалею, что не раньше 1925 года услышал о Вас. Я был бы, наверное, в моих собственных работах сегодня гораздо дальше и обошелся бы без тех многих напрасных трудов, зная Ваши превосходные работы.

...Надеюсь, что Вы дождетесь исполнения Ваших высоких целей. Вы зажгли огонь, и мы не дадим ему погаснуть, но приложим все усилия, чтобы исполнилась величайшая мечта человечества... Мою новую книгу посылаю Вам и буду очень рад, если взамен получу Ваши последние труды»[1].

Характерно отметить, что в третьем издании книги Оберта «Ракета в космическое пространство» (1929) ссылок на работы Циолковского снова нет, и его фамилия лишь упомянута в построчном примечании.

Такое замалчивание трудов нашего выдающегося ученого, изобретателя и мыслителя продолжается в капиталистических странах до наших дней. Основоположниками теории ракет дальнего действия и космических ракет называют Годдарда, Оберта, фон Брауна и др., сознательно не упоминая имя Циолковского, который более 75 лет назад получил основные расчетные формулы и указал ряд выдающихся конструкторских идей для ракет этого типа.

Будем надеяться, что после издания Академией наук основных работ К. Э. Циолковского по реактивным летательным аппаратам зарубежные авторы смогут прочесть Циолковского и, следовательно, оценить его творческую самобытность и значение его трудов для современной ракетной техники.

В ряде своих статей Циолковский дает красочные картины полета космической ракеты и тех явлений, которые будут наблюдать пассажиры межпланетного корабля.

«...Мы, отправившись в путь, будем испытывать весьма странные, совсем чудесные неожиданные ощущения, с описания которых и начнем.

Подан знак; началось взрывание, сопровождаемое оглушительным шумом. Ракета дрогнула и двинулась в путь. Мы чувствуем, что страшно отяжелели. Четыре пуда моего веса превратились в 40 пудов. Я повалился на пол, расшибся вдребезги, может быть, даже умер; тут уже не до наблюдений! Есть средства перенести такую ужасную тяжесть, но, так сказать, в упакованном виде или же в жидкости (об этом после).

---

[1] Подлинники писем Оберта хранятся в фонде К. Э. Циолковского в Академии наук СССР.

Погруженные в жидкость, мы также едва ли будем склонны к наблюдениям. Как бы то ни было, тяжесть в ракете, по-видимому, увеличилась в 10 раз. Об этом нам бы возвестили пружинные весы или динамометр (фунт золота, подвешенный на их крюк, превратился в 10 фунтов), ускоренные качания маятника (в 3 слишком раза более частые), более быстрое падение тел, уменьшение величины капель (диаметр их уменьшается в 10 раз), утяжеление всех вещей и много других явлений»[1].

Явления усиленной тяжести (увеличение перегрузки) будут наблюдаться только на активном участке траектории. Когда ракета достигнет второй космической скорости (11,2 км/с), работу двигателя можно прекратить и продолжать дальнейшее движение за счет приобретенной скорости. На больших высотах (больше 100 км) на ракету и ее спутников будет действовать только сила тяжести.

«Испытываемая нами адская тяжесть будет продолжаться, пока не окончится взрывание и его шум. Затем, когда наступит мертвая тишина, тяжесть также моментально исчезнет, как и появилась. Теперь мы поднялись за пределы атмосферы на высоту 575 км. Тяжесть не только ослабла, она испарилась без следов: мы не испытываем даже земного тяготения, к которому привыкли, как к воздуху, но которое для нас совсем не так необходимо, как последний. 575 км — это очень мало, это почти у поверхности Земли, и тяжесть должна бы уменьшиться весьма незначительно. Оно так и есть. Но мы имеем дело с относительными явлениями, и для них тяжести не существует.

Сила земного тяготения действует одинаково на ракету и находящиеся в ней тела. Поэтому нет разницы в движении ракеты и помещенных в ней тел. Их уносит один и тот же поток, одна и та же сила, и для ракеты как бы нет тяжести.

В этом мы убеждаемся по многим признакам. Все не прикрепленные к ракете предметы сошли со своих мест и висят в воздухе, ни к чему не прикасаясь; а если они и касаются, то не производят давления друг на друга или на опору. Сами мы также не касаемся пола и принимаем любое положение и направление: стоим на по-

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 116—117.

лу, и на потолке, и на стене; стоим перпендикулярно и наклонно; плаваем в середине ракеты, как рыбы, но без усилий и ни к чему не касаясь; ни один предмет не давит на другой, если их не прижимать друг к другу.

Вода не льется из графина, маятник не качается и висит боком. Громадная масса, привешенная на крючок пружинных весов, не производит натяжения пружины, и они всегда показывают нуль. Рычажные весы тоже оказываются бесполезны: коромысло их принимает всякое положение безразлично и независимо от равенства или неравенства грузов на чашках. Золото нельзя продавать на вес. Нельзя обычными, земными способами определить массу.

Масло, вытряхнутое из бутылки с некоторым трудом (так как мешало давление и упругость воздуха, которым мы дышим в ракете), принимает форму колеблющегося шара; через несколько минут колебание прекращается, и мы имеем превосходной точности жидкий шар; разбиваем его на части — получаем группу из меньших шаров разной величины. Все это ползет в разные стороны, расползается по стенам и смачивает их.

Ртутный барометр поднялся доверху, и ртуть наполнила всю трубку.

Двухколенный сифон не переливает воду.

Выпущенный осторожно из рук предмет не падает, а толкнутый — двигается прямолинейно и равномерно, пока не ударится о стенку или не наткнется на какуюнибудь вещь, чтобы снова прийти в движение, хотя и с меньшей скоростью. Вообще он в то же время вращается, как детский волчок. Даже трудно толкнуть тело, не сообщив ему вращения. Нам хорошо, легко, как на нежнейшей перине, но кровь немного приливает в голову; для полнокровных вредно.

Мы способны к наблюдению и размышлению. Несмотря на то что могучая рука Земли со страшною силою непрерывно тормозит подъем снаряда, т. е. сила земного тяготения не прекращается ни на один момент, в ракете мы ощущаем то же, что и на планете, сила тяжести которой исчезла каким-нибудь чудом или парализована центробежной силой.

Все так тихо, хорошо, спокойно. Открываем наружные ставни всех окон и смотрим через толстые стекла во все шесть сторон. Мы видим два неба, два полушара,

составляющие вместе одну сферу, в центре которой мы как будто находимся. Мы как бы внутри мячика, состоящего из двух равноценных половин. Одна половина черная — со звездами и Солнцем, другая желтоватая со множеством ярких и темных пятен и с обширными, не столь яркими пространствами. Это Земля, с которой мы только что простились. Она не кажется нам выпуклой в качестве шара, а, напротив, по законам перспективы вогнутой, как круглая чаша, во внутренность которой мы смотрим.

В марте месяце мы полетели с экватора в полуденное время, и Земля поэтому занимает почти полнеба. Полетев вечером или утром, мы увидели бы, что она покрывает четверть неба в виде гигантского изогнутого серпа; в полночь мы увидели бы только зону или кольцо, сияющее пурпуровым цветом — цветом зари и разделяющее небо пополам: одна половина без звезд, почти черная, чуть красноватая; другая черная, как сажа, усеянная бесчисленным множеством весьма сравнительно ярких, но не мерцающих звезд.

По мере удаления от поверхности Земли и поднятия в высоту зона становится все меньше и меньше, но зато все ярче и ярче. Земной шар, в этом ли виде или в виде серпа или чаши, как будто уменьшается, между тем как мы обозреваем (абсолютно) все бо́льшую и бо́льшую часть его поверхности. Вот он нам представляется в виде огромного блюда, которое, постепенно уменьшаясь, превращается в блюдечко.

...Верха и низа в ракете собственно нет, потому что нет относительной тяжести, и оставленное без опоры тело ни к какой стенке ракеты не стремится, но субъективные ощущения верха и низа все-таки остаются. Мы чувствуем верх и низ, только места их меняются с переменою направления нашего тела в пространстве. В стороне, где наша голова, мы видим верх, а где ноги — низ. Так, если мы обращаемся головой к нашей планете, она нам представляется в высоте; обращаясь к ней ногами, мы погружаем ее в бездну, потому что она кажется нам внизу. Картина грандиозная и на первый раз страшная; потом привыкаешь и на самом деле теряешь понятие о верхе и низе»[1].

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 117—119.

Какая же выгода человечеству от овладения безднами космического пространства? Циолковский считает, что *главное — это солнечная энергия*. Земля, по его подсчетам, получает только одну двухмиллиардную часть этой энергии. Это очень мало.

В своей работе по теории многоступенчатых ракет он писал: «Но зато как прекрасно будет достигнутое. Завоевание солнечной системы даст не только энергию и жизнь, которые в 2 миллиарда раз будут обильнее земной энергии и жизни, но и простор еще более обильный. Человек в своей власти над Землей владеет, так сказать, только двумя измерениями, третье же ограничено, т. е. распространение вверх и вниз пока невозможно. Тогда же человек получит три измерения.

А отсутствие тяжести, а девственные лучи Солнца, а любая температура, получаемая в сооружениях только силой солнечных лучей, а ничего не стоящее передвижение во все шесть сторон, а познание Вселенной... Мы не можем тут оценить всех благ и преимуществ завоевания солнечной системы. Кое-что я даю в моем сочинении «Вне Земли»[1].

«План дальнейшей эксплуатации солнечной энергии, вероятно, будет следующий.

Человечество пускает свои снаряды на один из астероидов и делает его базой для первоначальных своих работ. Оно пользуется материалом маленького планетоида и разлагает или разбирает его до центра для создания своих сооружений, составляющих первое кольцо кругом Солнца. Это кольцо, переполненное жизнью разумных существ, состоит из подвижных частей и подобно кольцу Сатурна.

Разложив и использовав также и другие крохотные астероиды, разумное начало образует для своих целей в очищенном, т. е. свободном от астероидов, пространстве еще ряд колец где-нибудь между орбитами Марса и Юпитера»[2].

Межпланетные путешествия безгранично увеличат возможности научных изысканий. Величайшая лабора-

---

[1] *Циолковский К. Э.* Реактивные летательные аппараты. М., 1964, с. 314—315. Работа «Вне Земли» опубликована в книге К. Э. Циолковского «Путь к звездам» (М., 1960, с. 117—247).

[2] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 127.

тория природы сделается более доступной, а расшифровка происходящих в ней явлений более простой и достоверной.

А скептикам Циолковский говорит:

«...Было время, и очень недавнее, когда идея о возможности узнать состав небесных тел считалась даже и у знаменитых ученых и мыслителей безрассудной. Теперь это время прошло. Мысль о возможности более близкого, непосредственного изучения Вселенной, я думаю, в настоящее время покажется еще более дикой. Стать ногой на почву астероидов, поднять рукой камень с Луны, устроить движущиеся станции в эфирном пространстве, образовать живые кольца вокруг Земли, Луны, Солнца, наблюдать Марс на расстоянии нескольких десятков верст, спуститься на его спутники или даже на самую его поверхность, что, по-видимому, может быть сумасброднее! *Однако только с момента применения реактивных приборов начнется новая великая эра в астрономии — эпоха более пристального изучения неба.* Устрашающая нас громадная сила тяготения не пугает ли нас более, чем следует!

Пушечное ядро, вылетающее со скоростью 2 км/с, не кажется нам изумительным. Почему же снаряд, летящий со скоростью 16 км/с и удаляющийся навеки от солнечной системы в бездны Вселенной, одолевающий силу тяготения Земли, Солнца и всей его системы, должен повергать нас в ужас. Разве такая пропасть между числами 2 и 16! Всего только одно больше другого в 8 раз.

Если возможна единица скорости, то почему невоз-

Многоуважаемому Кондратюку от автора: 1929 г. 15 февр. К. Циолковский

ИССЛЕДОВАНИЕ МИРОВЫХ ПРОСТРАНСТВ РЕАКТИВНЫМИ ПРИБОРАМИ.

(Переиздание работ 1903 и 1911 г. с некоторыми изменениями и дополнениями).

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Стремление к космическим путешествиям заложено во мне известным фантазером Ж.-Верном. Он пробудил работу мозга в этом направлении. Явились желания. За желаниями возникла деятельность ума. Конечно, она ни к чему бы не повела, если бы не встретила помощь со стороны науки.

Кроме того, мне представляется, вероятно, ложно, что основные идеи и любовь к вечному стремлению туда — к солнцу, к освобождению от цепей тяготения, во мне заложены чуть не с рождения. По крайней мере, я отлично помню, что моей любимой мечтой в самом раннем детстве, еще до книг, было смутное сознание о среде без тяжести, где движения во все стороны совершенно свободны и где каждому лучше, чем птице в воздухе. Откуда явились такие желания — я до сих пор не могу понять. И сказок таких нет, а я смутно верил, и чувствовал, и желал именно такой среды без пут тяготения.

Может быть, остатки атрофированного механизма, выдохшихся стремлений, когда наши предки жили еще в воде и тяжесть их была уравновешена — причина таких снов и желаний.

Первая страница знаменитой работы К. Э. Циолковского (Калуга, 1926) с дарственной надписью.

можна скорость в 8 таких единиц. Не все ли прогрессирует, движется вперед и притом с порожающей наш ум быстротой.

Давно ли десятиверстная скорость передвижения по земле казалась нашим бабушкам невероятной, головоломной, а теперь автомобили делают 100—200 верст в час, т. е. в 20 раз быстрее, чем ездили при Ньютоне. Давно ли казалось странным пользоваться иною силой, кроме мускулов, ветра и воды! Говоря на эту тему, можно никогда не кончить»[1].

Советские ученые, инженеры и рабочие пуском 4 октября 1957 г. первого искусственного спутника Земли начали эпоху исследований небесных тел и космического пространства.

Дальнейшая научная разработка грандиозных замыслов Циолковского, исследование различных аспектов проблемы межпланетных путешествий, широкое народнохозяйственное использование околоземных искусственных спутников Земли, изучение жизнедеятельности человека и животных в условиях космического полета — вот благородные задачи советской космонавтики.

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1954, т. II, с. 137.

Глава VI.

ЗНАМЕНИТЫЙ ДЕЯТЕЛЬ НАУКИ

Я говорю человеку: поверь в себя! Ты все можешь! Ты можешь познать все тайны вечности, стать хозяином всех богатств природы. У тебя крылья за спиной. Замахни ими! Ну, замахни, и ты будешь счастлив, могуществен и свободен.

К. Э. Циолковский

Первые годы после Великой Октябрьской социалистической революции (до 1922 г.) были очень трудными для Циолковского. Иногда он жил без света в плохо отапливаемой сырыми дровами комнате, голодал. Но настроение Константина Эдуардовича резко изменилось. В автобиографии он отмечал: «Революцию я встретил радостно, с надеждою. Училища были преобразованы, и я попал в трудовую советскую школу преподавателем физики. Меня очень утешало отсутствие отметок, экзаменов, братские отношения с учениками и уничтожение классовой розни и враждебности. Потом мне предложили преподавание астрономии и химии, за что я охотно взялся»[1].

Когда К. Э. Циолковский узнал, что в Москве организована Социалистическая академия общественных наук[2], он 30 июля 1918 г. послал туда автобиографию и предложил тему для исследований под широким названием «Социалистическое устройство человечества». Академия приняла предложение Циолковского и 25 августа 1918 г. утвердила его своим членом-соревнователем с

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч., т. V, с. 96 (рукопись).

[2] Социалистическая академия общественных наук была организоваиа в июне 1918 г. В 1923 г. она была переименована в Коммунистическую академию. В 1936 г. основные институты Коммунистической академии были переданы в Академию наук СССР.

окла́дом 300 р. в месяц. Константин Эдуардович поблагодарил Академию и попросил разрешения работать в г. Калуге, числясь как бы в командировке. К 12 ноября название темы исследований было изменено, а содержание сформулировано в виде следующих пяти частей: 1. Основы нравственности. 2. Богатства Вселенной. 3. Современный человек и его свойства. 4. Идеальный общественный строй. 5. Прошедшее и будущее человечества [1].

Приятным для Циолковского событием было избрание (5 июня 1919 г.) его почетным членом Русского общества любителей мироведения (РОЛМ). Председатель РОЛМ Н. А. Морозов писал Циолковскому, что это избрание является знаком уважения «к ученым заслугам Вашим... Вы развивали смелые и научно обоснованные идеи о межпланетных сообщениях и приборах, построенных по принципу ракеты»[2].

Калужское общество изучения природы и местного края также приветствовало избрание Циолковского в РОЛМ. Он писал Обществу, что теперь не чувствует себя одиноким. Общество помогло в 1920 г. переиздать превосходную научно-фантастическую повесть К. Э. Циолковского «Вне Земли».

Условия жизни и работы К. Э. Циолковского радикально изменились, когда Постановлением Совета Народных Комиссаров РСФСР ему была назначена персональная пенсия. Вот выписка пункта 8 из протокола этого постановления:

Протокол № 776

распорядительного заседания малого Совета Народных Комиссаров от 9/XI — 21 года

8. Ввиду особых заслуг изобретателя, специвлиста по ввиации К. Э. Циолковского в области научной рвзрвботки вопросов ввиации, назначить К. Э. Циолковскому пожизненную пенсию в размере 500 000 р. в месяц с распространением на этот оклвд всех последующих повышений тарифных ставок (по курсу того времени).

Комиссия по улучшению быта ученых взяла на себя заботу о Циолковском, обеспечив ему удовлетворитель-

[1] Циолковский двл теме новое название: «Общечеловеческвя Конституция». См.: *Самойлович С. И.* Гражданин Вселенной. Квлугв, 1969, с. 94.

[2] *Самойлович С. И.* Граждвнин Вселенной. Калугв, 1969, с. 96.

ные условия жизни в тот весьма трудный и напряженный период гражданской войны.

Правительственные и общественные организации стали оказывать помощь Циолковскому в издании его работ. *За 1917—1935 гг. было издано в 4 раза больше статей, брошюр и книг Циолковского, чем за весь предшествующий период его деятельности.* За 7 лет, с 1925 по 1932 г., было опубликовано около 60 работ Циолковского, посвященных физике, астрономии, механике и философии. Повседневное внимание Коммунистической партии и Советского правительства к научно-исследовательской работе Константина Эдуардовича способствовало широкой популярности и признанию его работ. Циолковский становится известным всему научно-техническому миру. Переводы статей Циолковского стали появляться в печати и в зарубежных журналах. Крупнейшие специалисты по теории ракет во всем мире начали изучать и обсуждать исследования Циолковского. Он становится признанным главой нового направления в технике — ракетостроения. Уравнениям и формулам Циолковского посвящаются специальные дискуссии, его работы по реактивному движению и межпланетным путешествиям находят талантливых продолжателей во всех странах. Группы и общества по изучению возможностей межпланетных путешествий создаются в СССР, Германии, Англии, Франции, США; начинается экспериментальная и конструкторская работа. Идея межпланетных путешествий была тем творческим стимулом, который объединил значительные коллективы ученых и изобретателей. По существу тот *колоссальный прогресс ракетной техники, свидетелями которого мы все являемся, был начат более семидесяти пяти лет назад К. Э. Циолковским.* Он в значительной степени подготовлен исследованиями как самого Константина Эдуардовича, так и его многочисленных последователей.

Группы изучения реактивного движения (ГИРДы) были организованы в Москве, Ленинграде и других городах. Эти группы имели тесную связь с Циолковским, и часто его рукой писались первые планы научно-технических исследований по ракетной технике в этих группах. Коллективы ученых, изобретателей и инженеров, разрабатывая богатое идейное наследие Константина Эдуардовича, способствовали созданию первых образцов

реактивных аппаратов. В 1930—1931 гг. одним из последователей Циолковского, известным специалистом по ракетной технике Ф. А. Цандером был сконструирован первый реактивный двигатель ОР-1, работавший на бензине и газообразном кислороде с тягой до 5 кг ($\approx$50 Н. — *Прим. ред.*[1]). Затем Цандер разработал реактивный двигатель ОР-2 на бензине и жидком кислороде с тягой до 50 кг ($\approx$500 Н. — *Прим. ред.*). Этот двигатель был построен московской группой изучения реактивного движения в 1933 г. и после доводочных работ успешно прошел огневые испытания.

Инженеры и ученые, объединенные в ГИРДах, стали впоследствии тем руководящим ядром советской ракетной техники, которое обеспечило решение труднейших задач современного ракетостроения.

Необходимо отметить, что ранее возникновения ГИРДов при поддержке Реввоенсовета в 1929 г. в Ленинграде была создана первая советская научно-исследовательская и опытно-конструкторская организация — Газодинамическая лаборатория (ГДЛ). Основным направлением работы ГДЛ было создание пороховых ракетных снарядов на бездымном тротилпироксилиновом порохе (прообраз будущих «катюш»). Выдающимся деятелем ГДЛ инженером В. П. Глушко в 1930—1933 гг. было создано семейство жидкостных реактивных двигателей ОРМ с тягой до 300 кг[1]. В конце 1933 г. Московский ГИРД и ГДЛ были объединены и в СССР создан Реактивный научно-исследовательский институт (РНИИ).

Циолковский перестал чувствовать себя одиноким. Чрезвычайно характерно для новых настроений Константина Эдуардовича его известное письмо к И. В. Сталину, которое он отправил 13 сентября 1935 г. за несколько дней до смерти. Вот выдержка из этого письма:

«...Всю свою жизнь я мечтал своими трудами хоть немного продвинуть человечество вперед. До революции моя мечта не могла осуществиться.

Лишь Октябрь принес признание трудам самоучки, лишь Советская власть и партия... оказали мне действенную помощь. Я почувствовал любовь народных масс,

---

[1] См. примечание в сноске 2 на с. 44.

и это давало мне силы продолжать работу, уже будучи больным. Однако сейчас болезнь не дает закончить начатого дела.

Все свои труды по авиации, ракетоплаванию и межпланетным сообщениям передаю партии большевиков и Советской власти — подлинным руководителям прогресса человеческой культуры. Уверен, что они успешно закончат эти труды.

Всей душой и мыслями Ваш
с последним искренним приветом всегда Ваш
К. Циолковский».

Больной Константин Эдуардович был чрезвычайно тронут и обрадован ответной телеграммой, где говорилось:

«Знаменитому деятелю науки товарищу К. Э. Циолковскому. Примите мою благодарность за письмо, полное доверия к партии большевиков и Советской власти.

Желаю Вам здоровья и дальнейшей плодотворной работы на пользу трудящихся.

Жму Вашу руку
И. Сталин».

Великая Октябрьская социалистическая революция была той могучей силой, которая вдохнула в 60-летнего Циолковского новые творческие дерзания. Его талант выявился во всем могуществе и блеске. Он предстал перед современниками как зачинатель новой области человеческого знания, новой науки, новой отрасли промышленности. Полеты ракет наблюдали многие и до Циолковского. Однако никто из строителей ракет, никто из многих миллионов людей, наблюдавших фейерверки и иллюминации, не пришел к созданию новой науки — теории полета ракет. Более того, как мы уже указывали, пороховые ракеты были предметом внимания значительного круга крупных военных специалистов в течение почти всего XIX столетия, и все же *теории реактивного движения не существовало до работ Циолковского*.

Как Галилей увидел в обыденных явлениях падения тел, явлениях, наблюдаемых каждым человеком, начиная с рождения, стоящие за ними законы равнопеременного движения, законы простые и адекватные сущ-

ности явлений, так и в новой области движения ракет *Циолковский открыл закономерности, выявившие основные принципы, характерные для этого класса движений.* Эти закономерности просты и прозрачны, как ключевая вода. От них не уйдешь в задачах ракетостроения и их не предать забвению. Они просматриваются как основа во многих современных работах по теоретической ракетодинамике. Иногда только эти глубокие и простые закономерности, вытекающие из более сложных рассуждений, и придают цену некоторым претендующим на новизну, но совершенно трафаретным работам, где блестящая математическая техника часто окутывает густым туманом мизерную суть дела.

Жизнь К. Э. Циолковского — это жизнь бедняка, труженика и, смеем сказать, оптимиста в научных исканиях. Вот его жизненное кредо: «Мы мало знаем. *Нас ждут бездны открытий и мудрости* (курсив мой. — *А. К.*). Будем жить, чтобы получить их и царствовать во Вселенной...»[1].

В связи с этим отметим, что для многих западных ученых наших дней характерны высказывания иного настроения. Вот, например, что пишет лауреат Нобелевской премии профессор Р. Фейнман (США): «Нам необыкновенно повезло, что мы живем в век, когда еще можно делать открытия. Это как открытие Америки, которую открывают раз и навсегда. Век, в который мы живем, это век открытия основных законов природы, и это время уже никогда не повторится. Это удивительное время, время волнений и восторгов, но этому наступит конец». И далее Фейнман утверждает: «Наступит время вырождения идей, вырождение такого же сорта, которое знакомо географу-первооткрывателю, узнавшему, что по его следам двинулись полчища туристов»[2]. Мы привели эти высказывания, чтобы ярче оттенить оптимизм Циолковского, который жил в несравненно более трудных условиях.

Все величие таланта Циолковского, вся его творческая самобытность, оригинальность проявились во всем блеске именно в теории движения ракет, где многие и

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч., т. V (рукопись).

[2] *Фейнман Р.* Характер физических законов. М., 1968, с. 191.

многие из ученых не видели ничего достойного внимания.

Умение выявить всю важность исследования полета ракет как тел переменной массы в условиях экономического и научного уровня развития России конца XIX и начала XX столетия нам представляется явлением выдающимся. *Расширить границы познания объективных законов природы, проложить новые пути исследований в неизведанной области и дать результаты классической ясности и простоты мог только человек выдающегося* дарования и гениальной проницательности.

Но в условиях царской России прогрессивные идеи Циолковского не встречали почти никакой поддержки. Его работы по теории реактивного движения считались фантастической игрой ума, не имеющими какого-либо практического значения.

После победы Великой Октябрьской социалистической революции в нашей стране созданы самые благоприятные условия для развития передовой науки, для общего подъема и роста материальной и духовной культуры народа с помощью науки. Наступило время, о котором мечтал М. В. Ломоносов, когда «науки художествам путь показывают; художества происхождение наук ускоряют»[1]. Благодаря научным методам изучения наблюдаемых процессов, накоплению знаний, открытию новых явлений и новых закономерностей мы познаем окружающий нас мир и сознательно вырабатываем меры воздействия на природу, исследуем и овладеваем ею, переделываем и совершенствуем ее, направляем познанные объективные законы природы на службу интересам народа, на службу социалистической Родине. Полная уверенность в том, что передовая наука страны социализма достигает объективного познания процессов природы и техники, составляет главную сущность, коренную идею научно-технического прогресса. Диалектический материализм, являющийся передовым научным мировоззрением, исходит из того, что мир и его закономерности вполне познаваемы, что наши знания о законах природы, проверенные опытом, практикой, являются достоверными знаниями, имею-

[1] Художества — это совокупность практических приемов промышленности, строительного искусства и ремесел.

щими значение объективных истин, что нет в мире непознаваемых вещей, а есть вещи, еще не познанные, которые будут раскрыты и познаны силами науки.

В советских условиях наука и ее методы стали главным орудием сознательного планового руководства экономическим развитием. При помощи науки мы не только познаем объективные законы внешнего мира, но и переделываем его, строя материально-техническую базу коммунистического общества. Каждое новое открытие советских ученых, каждое новое изобретение, каждая новая конструкция расширяют область научного познания. Наука вечна в своих источниках и безгранична в своем объеме. Мы думаем, что уверенность Циолковского в объективном значении открываемых им истин, уверенность, что его работы станут началом величайших технических преобразований, «дадут обществу горы хлеба и бездну могущества», и была тем источником оптимизма, который Константин Эдуардович сохранял всю свою жизнь. Он горел стремлением «внушить всем людям разумные и бодрящие мысли».

Как же работал этот великий человек? К сожалению, автор этой книги не встречался и не беседовал с Константином Эдуардовичем. Но внимательное изучение как трудов Циолковского, так и высказываний о нем его друзей, родных и знакомых позволило автору восстановить некоторые детали творческого труда Циолковского.

После Великой Октябрьской социалистической революции Циолковский преподавал относительно немного и с ноября 1921 г., окончательно выйдя на пенсию, все силы почти целиком переключил на новые научные изыскания.

Он был всегда собран и сосредоточен. Ясность, целеустремленность и систематическое действие (деяние, как говорил А. М. Горький) — определяющие черты его жизни. Циолковский не любил праздности, ничегонеделания. Его отдых был простой переменой труда. Вот примерное расписание его занятий в самый обычный день, когда он перестал преподавать.

Вставал он в 8 часов утра, хотя просыпался несколько раньше. Обычно напевал только ему известные мотивы — без слов. Это было отдыхом от напряженной работы ума, характерной привычкой с юношеских лет.

Вот как писал он сам в автобиографии: «Когда же не был занят, особенно во время прогулок, всегда пел. И пел не песни, а как птица, без слов. Слова бы дали понятие о моих мыслях, а я этого не хотел. Пел и утром, и ночью. Это было отдыхом для ума. Мотивы зависели от настроения. Настроение же вызывалось чувствами, впечатлениями и часто чтением. И сейчас я почти каждый день пою и утром, и перед сном, хотя уже и голос охрип, и мелодии стали однообразней. Ни для кого я этого не делал, и никто меня не слышал. Я это делаю для себя. Это была какая-то потребность. Неясные мысли и ощущения вызывали звуки. Помнится, певческое настроение появилось у меня в 19 лет»[1].

В девять он уже сидел за работой. В рабочей комнате требовал большого простора и света. Циолковский не любил сидеть за столом и обычно писал, сидя в глубоком кресле, положив на колени кусок фанеры. Придерживая левой рукой расползающиеся листы бумаги, он записывал мысли размашистым крупным почерком. Серебро волос обрамляло его высокий, мощный лоб.

В Калуге в доме, где Циолковский жил более 25 лет, теперь устроен музей (рис. 19). В годы немецко-фашистской оккупации многие из экспонатов музея погибли, но все же работники музея восстановили по возможности ту обстановку в доме, которая была при жизни ученого. Поражает посетителей большая застекленная веранда, на которой помещен токарный станок, станок-вальцы для получения гофрированного металла. Восстановлены (после варварства немецких оккупантов) и выставлены модели дирижаблей и аэродинамическая труба. Веранда служила для Циолковского исследовательской лабораторией, в ней он *исполнял собственными руками* первые образцы всех своих установок и приборов. Циолковский изготовил у себя дома большое число демонстрационных приборов по учебному курсу физики и математики Боровского училища и Калужского епархиального училища.

После четырехчасового напряженного труда он отправлялся на прогулку. Циолковский очень любил велосипед и обычно ехал в бор, или на реку, или в Калужский загородный сад, делая 7—10 км ежедневно.

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч., т. V, с. 44 (рукопись).



Рис. 19. Дом-музей К. Э. Циолковского в г. Калуге.

По возвращении с прогулки обедал, немного отдыхал и снова работал три-четыре часа, сидя в своем кресле. Вечером принимал посетителей. Для удобства разговора он сконструировал и построил себе рупор в виде удлиненного конуса, который он приставлял к уху и направлял к собеседнику, чтобы лучше слышать.

Константин Эдуардович много читал. Его любимыми авторами были Чехов, Горький и Мамин-Сибиряк. Чтение художественной литературы являлось для него своеобразным отдыхом, и часто любимые авторы заканчивали его рабочий день. Эта *дисциплина ежедневного труда* сдерживала и направляла творческие стремления его увлекающейся, страстной натуры. Усилиями разума он не позволял себе разбрасываться на то множество мыслей и идей, которые кипели в его талантливой голове. Эти мысли и идеи поддерживали его оптимизм в самые трудные моменты жизни.

Иногда он давал полную свободу своим увлечениям. Тогда забрасывалось все, и концентрация усилий давала тот необычайный размах и силу мысли, которые поражают каждого внимательного читателя его произве-

дений. Такие творческие взлеты были у Циолковского, когда он работал над проектом цельнометаллического управляемого аэростата (дирижабля), проектом аэроплана, теорией полета ракет и философской работой «Монизм Вселенной».

Как экспериментатор и изобретатель, он увлекался и новинками техники. Вот что писал о Константине Эдуардовиче хорошо знавший его калужский инженер А. В. Ассонов: «...это было после переезда в домик под горой. Он через мастерские Вереитинова купил очень старый мотоцикл за 80 рублей. К нему приделал для зажигания ящик с сухими элементами своего изделия, укрепил его сзади сиденья на специально устроенной подставке и решил отправиться в путешествие. Надо сказать, что увлечение мотоциклом было настолько велико, что были заброшены все дела и работы, он мечтал о каком-то новом карбюраторе, магнето и т. д. По этому поводу он писал мне: «Я страшно болтаюсь с мотоциклом, но хочу взять себя в руки и заняться серьезно».



Государственный музей истории космонавтики им. К. Э. Циолковского в г. Калуге.



К. Э. Циолковский после награждения орденом Трудового Красного Знамени в 1932 г.

Во всех делах и увлечениях Циолковского видно неукротимое стремление пройти всю дорогу исследования от начала и до логического конца самостоятельно. Работая над различными проблемами науки или техники, литературы и философии, он всегда думал о людях, социалистическом Отечестве, общечеловеческом счастье. «Я интересовался более всего тем, что могло бы прекратить страдания человечества, дать ему могущество, богатство, знание и здоровье», — писал Циолковский в 1935 г.

За выдающиеся заслуги перед Страной Советов Циолковский был награжден в 1932 г. орденом Трудового Красного Знамени, который ему вручил М. И. Калинин. Принимая высокую награду, ученый сказал: «Я могу отблагодарить правительство только трудами...»

«С чувством глубочайшего уважения, поздравляю Вас, Герой труда», — телеграфировал в Калугу великий русский писатель Максим Горький в день 75-летнего юбилея Константина Эдуардовича.

Широта научных интересов Циолковского может быть отчасти охарактеризована названиями его работ, написанных с 1916 по 1930 г. Вот некоторые из них:

«Горе и гений» (Калуга, 1916);

«Монизм Вселенной» (Калуга. 1925);

«Исследование мировых пространств реактивными приборами» (Калуга, 1926);

«Сопротивление воздуха и скорый поезд» (Калуга, 1927);

«Ум и страсти» (Калуга, 1928);

«Растение будущего» (Калуга, 1929);

«Космические ракетные поезда» (Калуга, 1929);

«Звездоплавателям» (Калуга, 1930);

«Реактивный аэроплан» (Калуга, 1930);

«Научная этика» (Калуга, 1930);

«От самолета к звездолету» (Калуга, 1931).

Мы приведем здесь некоторые характерные высказывания К. Э. Циолковского, взятые из его писем и работ. Как справедливо заметил академик И. Д. Крачковский, для хорошего понимания человека вовсе не обязательно знать его непосредственно — книги, письма, фотографии открывают его не хуже, а иногда, может быть, и непринужденнее, чем личное общение.

В небольших отрывках, взятых из работ Константина Эдуардовича и его писем, виден большой оригинальный ум и человеческое благородство, видны его целеустремленность и одержимость научными исканиями.

Он говорил:

«...Трудно предвидеть судьбу какой-нибудь мысли или какого-нибудь открытия: осуществится ли оно и через сколько времени — десятилетия или столетия для этого нужны, как осуществится, в какой форме, к чему оно поведет, насколько изменит и улучшит жизнь человечества, не преобразует ли оно в корне наши взгляды и нашу науку».

«...Сколько было ложных открытий, на стороне которых были люди и правдивые и авторитетные. И обратно, скольким пренебрегалось, что потом стало великим».

«...Только наша Советская власть отнеслась ко мне человечно. Новая и настоящая Родина создала мне условия для жизни и работы.

В 1932 г. крупнейшее капиталистическое общество металлических дирижаблей прислало мне письмо, просили дать подробные сведения о моих дирижаблях. Я не ответил на заданные вопросы, я считаю свои знания достоянием СССР.

Я горжусь своей страной, да, горжусь! Комсомольцы и молодежь, учитесь еще больше, делайте это с радостью, ни на один час не забывайте о будущем нашей великой Родины».

«...Есть действительно вещи и дела несвоевременные, но они пáдают сами собой без всякого насилия над ними. В то же время известно, что все великие начинания оказывались несвоевременными и не запрещались, но не находя сочувствия, гасли или проникали помалу,



К. Э. Циолковский в последние годы жизни.

с большими усилиями и жертвами. Так, несвоевременными оказались железные дороги. Комиссии известных ученых и специалистов не только находили их несвоевременными, но даже вредными и губительными, например, для здоровья. Пароход сочли игрушкой».

«...Сколько среди нас, людей, в разные времена было гениев, двигающих земное человечество по пути к познанию и счастью! Во всякий момент жизни найдутся такие необыкновенные, драгоценные для земли люди. Сколько их забыто людским неведением, сколько не узнано и погибло, не проявив своих благодетельных свойств! Будущий порядок земли устранит это несчастье, эту безмерную убыль для человечества, и во главе управления на самом деле будут наиболее полезные, наиболее совершенные люди».

«...Мы должны быть мужественными и не прекращать своей деятельности от неудач. Надо искать их причины и устранять их».

«...Новые идеи надо поддерживать, пока они не осуществятся или пока не выяснится полная их несостоятельность, зловредность или неприменимость. Немногие имеют такую смелость, но это очень драгоценное свойство людей».

В письме Б. Н. Воробьеву (1912), известному собирателю научного наследства К. Э. Циолковского, он писал: «Вы видите, что... моя жизнь исключительно состоит из работы, что я все еще надеюсь быть полезным, хотя бы и после смерти».

«...Моя работа далеко не рассматривает всех сторон дела и совсем не решает его практической стороны относительно осуществимости; но в далеком будущем уже виднеются сквозь туман перспективы до такой сте-

пени обольстительные и важные, что о них едва ли теперь кто мечтает» (1903).

«...Никогда я не претендовал на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут мысль, фантазия, сказка; за ними шествует научный расчет, и уже в конце концов исполнение венчает мысль».

«...Исполнению предшествует мысль, точному расчету — фантазия».

«...Радость делает добрым».

В некоторые трудные моменты жизни Циолковский писал своим последователям и друзьям горькие (пессимистические) слова о своих настроениях:

«...В этом году (1927) мне исполнится 70 лет. Качусь быстро под гору. Страшно устал, падаю духом и ослабел в стремлении жить и работать».

«...Ваш, всегда теперь усталый, Циолковский... Писательство о мне прессы[1] — одна случайность. Я одинок и бессилен, как был».

«...Старость и работа дали мне знание, опытность, осторожность, но лишили энтузиазма и веры в какую бы то ни было теорию до проверки ее в жизни».

С юных лет Циолковского увлекала возможность космических путешествий, преодоление силы притяжения Земли. Циолковский много мечтал, размышлял, вычислял, проектировал.

Он говорил:

«...Астрономия меня увлекала потому, что я считал и считаю до сего времени не только Землю, но отчасти и Вселенную достоянием человеческого потомства».

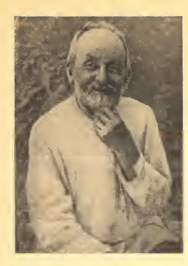
«...Планета есть колыбель разума, но нельзя вечно жить в колыбели».

«...Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околосолнечное пространство».

«...Чем больше я работал, тем больше находил разные трудности и препятствия. До последнего времени я предполагал, что нужны сотни лет для осуществления полетов с астрономической скоростью (8—17 км в секунду). Это подтверждалось теми слабыми резуль-

---

[1] Статьи в газетах и журналах, посвященные 70-летию со дня рождения Циолковского *(прим. А. К.)*.



К. Э. Циолковский (в хорошем настроении — 1933 г.).

татами, которые получены у нас и за границей. Но непрерывная работа в последнее время поколебала эти мои пессимистические взгляды: найдены приемы, которые дадут изумительные результаты уже через десятки лет[1].

Внимание, которое уделяет наше Советское правительство развитию индустрии в СССР и всякого рода научным исследованиям, надеюсь, оправдает и утвердит эту мою надежду».

«...Все, о чем я говорю,— слабая попытка предвидеть будущее авиации, воздухоплавания и ракетоплавания. В одном я твердо уверен — первенство будет принадлежать Советскому Союзу. Капиталистические страны также работают над этими вопросами, но капиталистические порядки мешают всему новому. Только в Советском Союзе мы имеем мощную авиационную промышленность, богатство научных учреждений, общественное внимание к вопросам воздухоплавания и необычайную любовь всех трудящихся к своей Родине, обеспечивающую успех наших начинаний».

«...Наша молодежь должна учиться еще больше, как можно больше приобретать знаний и вести самостоятельную деятельность — без нее вы ничего не сможете дать Родине. Мы должны понимать наше будущее и будущее своих изобретателей. Мы должны работать во имя нашей славной Родины. Вы, молодые друзья, должны гордиться Родиной так же, как горжусь ею я, старик».

Он писал в 1928 г.: «Будем смелы. Не будем боять-

---

[1] В 1957 г. советские ракетостроители получили первую космическую скорость — 8 км/с, а в 1959 г. — вторую космическую скорость — 11,2 км/с.

ся кары авторитетов, хотя бы за ними были тысячелетия. Мы охотно за ними пойдем, если они с точки зрения несомненных знаний пришли к верным, хотя и недоказанным ими выводам.

Как мы можем быть виновны, если мы следуем своему разуму? Что же может быть выше его? Конечно, возможны существа сильнее нас по разуму. Но где они? Они не приходят к нам на помощь. Когда придут, тогда и послушаем их. Сейчас мы имеем только указания наиболее даровитых своих собратий. Разум же неба молчит.

Через тысячи лет наука расширится, усовершенствуется, и сам человек преобразится к лучшему. Но пока этого нет, нам приходится довольствоваться имеющимся. Наши выводы, наверное, будут неполны, даже ошибочны. Но что же делать, если нет сейчас того, что будет через 100, тысячу, миллион лет и что даст нам более верные выводы!»[1].

Из письма в Ассоциацию изобретателей (от 29. X. 1927 г.): «Честь для меня дороже всего, даже успеха».

«...Желаю вам радостной, роскошной жизни, у вас всех счастливое время, и вы доживете до еще более счастливых дней в нашей социалистической стране».

«...Я всю жизнь рвусь к новым победам и достижениям, вот почему только большевики меня понимают. Я бесконечно благодарен партии и Советскому правительству».

С 1939 г. автор этой книги изучает все напечатанное в трудах К. Э. Циолковского и достаточно внимательно ознакомился с архивом Константина Эдуардовича, хранящимся в Академии наук СССР. Поэтому хочется высказать некоторые мысли об оригинальности и самобытности творческого стиля Циолковского — выдающегося ученого, мыслителя и человека. Он, конечно, был энциклопедистом и работал плодотворно во многих областях науки и техники: аэронавтике, ракетной технике, астрономии, космонавтике, биологии, философии и социологии. Циолковский писал в одном из вариантов автобиографии («Черты из моей жизни»):

---

[1] *Циолковский К. Э.* Любовь к самому себе, или истинное себялюбие. Калуга, 1928, с. 4.

«По моей чрезвычайной любознательности я энциклопедист... Моя натурфилософия, которую я вырабатывал в течение всей жизни и ставил выше всякой другой своей деятельности, также требовала сведений во всех отраслях знаний»[1].

В той же рукописи он указывал: «Я все время искал, искал самостоятельно, переходил от одних трудных и серьезных вопросов к другим, еще более трудным и важным. Сдерживались мои мысли и фантазия только наукой»[2].

Константин Эдуардович был неистовым мечтателем. Его душа кипела множеством идей. Он размышлял о неиспользуемой человечеством колоссальной энергии Солнца, о законах движения ракет, о создании грандиозных цельнометаллических дирижаблей и хорошо управляемых аэропланов, о новых формах государственного устройства, о межпланетных искусственных островах, населенных смелыми потомками людей, уже превративших своим трудом нашу планету в цветущий сад, о новом научном интернациональном языке вместо средневековой латыни и многих других вопросах.

Строгий математический анализ, обязательная количественная оценка — *число* — обуздывали эти полеты фантазии. Девизом его исканий был *научный расчет*, который шествовал за мечтой, фантазией, сказкой.

Он стремился показать своим современникам новые, неизведанные пути научных исканий, новые, неоткрытые миры, новые человеческие отношения, иную жизнь. Он тревожил умы, звал к созиданию великого, возбуждая желание размышлять, искать, творить. Он был могуч в своих свершениях и даже заблуждениях. Он был обаятелен в своей страстной и горячей вере в силу разума, силу науки, силу неукротимого стремления человека к лучшему.

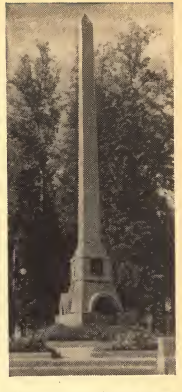
Он учился созидая. Нередко тернистыми путями приходил к открытому ранее другими, но это не огорчало ученого, а лишь убеждало в правильности выбранного метода познания нового. Его неудержимо увлекал процесс интеллектуального творчества. Радость созидания согревала и питала его воображение.

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч., т. V, с. 105 (рукопись).

[2] Там же, с. 79.

Многие ученые его не понимали. Он публиковал свои статьи в журналах, редко привлекавших внимание официально признанных научных деятелей. Его больше знали инженеры-изобретатели, люди чуткие к новому, неожиданному. В те дни для большинства ученых был неактуален сам предмет основных исследований Константина Эдуардовича. С «общего согласия» боевые пороховые ракеты были похоронены в 80-х годах XIX столетия. Ленивым и холодным умам казалось, что Циолковский пишет о несбыточном, уже отвергнутом ходом истории. Форма и стиль его статей часто раздражали педантов. Новые, русифицированные обозначения, применявшиеся Циолковским для записи привычных с гимназических лет формул, считали блажью умирающего славянофильства. Отсутствие ссылок на опубликованные результаты предшественников называли гордыней и игрой в гениальность.



Памятник К. Э. Циолковскому на его могиле в г. Калуге.

Горестная жизнь почти всех дореволюционных открытий Циолковского поднимала в душе его бурю протестов. Он мысленно листал великую книгу истории науки и сопоставлял свои открытия с открытиями великих мужей естествознания и техники. Ему импонировали многие сравнения и аналогии. Он говорит в предисловии к работе «Ракета в космическое пространство»: «...Ламарк написал книгу, где разбирал и доказывал постепенное развитие существ от низших организмов до человека. Французская академия во главе с знаменитым Кювье измывалась над этой книгой и публично

приравняла Ламарка к ослу. Галилей был пытан, заключен в тюрьму и принужден с позором отречься от своего учения о вращении Земли. Только этим он спасся от сожжения. Кеплер сидел в тюрьме. Бруно сожжен за учение о множественности миров. Французская академия отвергла Дарвина, а русская — Менделеева. Колумб после открытия им Америки был закован в цепи. Майер был доведен измывательством ученых до сумасшедшего дома. Химик Лавуазье казнен. Коперник лишь на смертном одре получил свои печатные труды. Работы Менделя обратили внимание на себя только через десятки лет после их издания. Гальвани, открывший динамическое электричество, был осмеян. Изобретатель книгопечатания Гутенберг умер в нищете, так же как (недавно) и изобретатель холодильных машин Казимир Пелье. Фультон отвергнут самим Наполеоном (первым). Не перечислить сожженных и повешенных за истину. История переполнена фактами такого рода. И почему это академиям, ученым и профессионалам суждено играть такую жалкую роль гасителей истины и даже ее карателей?»

Циолковский после 1917 г. в резких выражениях писал о слепоте академической дореволюционной науки к новому, о ее приверженности к дряхлеющему, канонизированному. Он понимал, что находится в первых рядах зачинателей великого, и ему хотелось открыть всем глаза на те богатства, которые ежедневно стояли перед его умственным взором.

Условия творчества Константина Эдуардовича были ужасными даже для царской России. Мизерное жалованье. Большая семья. Тесная и неудобная квартира. Нужда и недоедание. Почти полное непонимание сограждан. Пожары и наводнения неоднократно уничтожали его рукописи и черновые расчеты. Он не имел ни в Боровске, ни в Калуге необходимой научной литературы. О журналах (текущей научной периодике) можно было только мечтать. Грубые насмешки обывателей провинциальной России были единственным «поощрением» ученому. Вряд ли способствовали продуктивности работы жалящие уколы коллег-преподавателей, готовых придраться к мельчайшему методическому нововведению. Все недовольны тем, что бедняк Циолковский печатает на собственные средства научные статьи

и рассылает их бесплатно. Автор полагает, что глухота спасла от тины «благонамеренного и толстокожего» мещанства величие этого человека. Содержание научных статей Циолковского в дореволюционной Калуге понимали максимум 10—15 человек.

Циолковский писал ленинградскому профессору Н. А. Рынину в 1926 г., характеризуя дореволюционные условия своего научного творчества: «Книг было тогда вообще мало, а у меня в особенности. Поэтому приходилось больше мыслить самостоятельно и часто идти по ложному пути. Нередко я изобретал и открывал давно известное. Я учился творя, хотя часто неудачно и с опозданием. Зато я привык мыслить и относиться ко всему критически. Впрочем, самобытность, я думаю, была в моей природе. Глухота же и невольное удаление от общества только расширили мою самодеятельность».

Он не владел многими тонкостями математической техники XX в. Применяемый им в работах математический аппарат очень прост и доступен каждому, изучающему обычный вузовский курс высшей математики. Но он видел и предугадывал суть многих явлений, не боясь ошибиться при попытках овладеть новыми закономерностями [1].

Математическая техника и символика — это нечто вроде нотной грамоты или правил стихосложения. Можно великолепно объяснять, какие аккорды и последовательности аккордов заложены в менуэтах Гайдна и Моцарта, но не уметь написать самостоятельно ничего. Можно по-разному трактовать структуру и ритмику стихов Пушкина, Блока и Есенина, но с грустью убеждаться, что в этих знаниях нет ни гроша истинной поэзии. Можно воспроизводить на память все чудесные открытия по математике, сделанные до нас, но не уметь применить их к самому простому делу. Есть какой-то логически неуловимый скачок в нашем сознании, когда мы начинаем идти от известного к неизвестному, когда открытое великими предшественниками не мешает нам видеть в этом мире новое, еще не открытое, бывшее до нас незамеченным.

---

[1] Константин Эдуардович правильно отмечал: «Элементарность изложения некоторых моих трудов составляет особенное их достоинство» (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 17).

Самое трудное в подлинном научном воспитании и состоит в том, чтобы *обучающийся не попадал под обаяние известных, часто более могущественных предшественников, а сохранял творческое, свое понимание действительности.*

Циолковский не любил просматривать до деталей пути-дороги предшественников. Он обычно схватывал «изюминку» нового в любой научной работе, а доказательства придумывал сам. Поэтому даже известные в науке результаты изложены у Циолковского по-своему, неожиданно, свежо, оригинально. Он умеет мечтать и видеть «обольстительные и важные перспективы» ракетной техники, он мудр и точен в своих формулировках и выводах, он тревожит ум и находит дорогу к самому лучшему в вашем сердце, когда ставит новые проблемы.

В предисловии к работе «Растение будущего» Циолковский так характеризует свой творческий почерк: «Почему я часто не упоминаю об источниках и не угощаю читателей мудростью энциклопедических словарей? Да потому, что это страшно увеличит размер работ, запутает и утомит читателя, заставит его бросить книгу. Времени и сил так мало! Моя цель — в малом и доступном объеме дать много. *Горю стремлением внушить всем людям разумные и бодрящие мысли* (курсив мой. — *А. К.*). Притом я *тружусь самостоятельно и ново,* только основы научны, стары и известны. Множество имен, мнений и дат мешает главному — усвоению истины. Дело специалистов и исторических наук — давать эти даты, имена и их противоречивые мнения. Я же выбираю из всего материала то, что считаю наиболее вероятным. Компиляции требуют, конечно, иного изложения. Мои же работы не компиляции»[1].

В одном из сохранившихся вариантов автобиографии Константин Эдуардович писал: «Вся моя жизнь состояла из размышлений, вычислений, практических работ и опытов. Меня всегда сопровождала домашняя мастерская»[2].

Циолковский, конечно, хотел публикации своих работ, он стремился к обсуждению своих произведений

[1] *Циолковский К. Э.* Растение будущего. Калуга. 1929, с. I.
[2] Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 2.

по существу. Но признавал он для себя только суд народа. И потому неоднократно писал: «Мне бы только хотелось избежать предварительного суда специалистов, которые забракуют работы, так как *они опередили время* (курсив мой. — *А. К.*), также и по общечеловеческой слабости: не признавать ничего оригинального, что так несогласно с воспринятыми и окаменевшими уже мыслями.

Вообще я хочу избавиться от всякого суда и контроля, кроме общественного, после издания моих работ. Если рукописи не будут изданы, то легко могут затеряться после моей смерти (мне 65 лет). Кроме того, обнародование их придаст мне бодрости закончить остальные работы и изобретения. Государство же от своей маленькой жертвы не разорится, так как таких, как я, немного» [1].



Золотая медаль им. К. Э. Циолковского, утвержденная Академией наук СССР.

Циолковский часто говорил:

«Основной мотив моей жизни: сделать что-нибудь полезное для людей, не прожить даром жизнь, продвинуть человечество хоть немного вперед. Вот почему я интересовался тем, что не давало мне ни хлеба, ни силы, но я надеюсь, что мои работы, может быть, скоро, а может быть, и в отдаленном будущем дадут обществу *горы хлеба и бездну могущества*» [2].

Константин Эдуардович хорошо понимал важность

---

[1] *Циолковский К. Э.* Собр. соч. М., 1964, т. IV, с. 430.
[2] Там же, с. 429.



Памятник К. Э. Циолковскому в г. Калуге.

и оригинальность своих работ. Он страстно желал их публикации и писал:

«Как жаль, что я не имею возможности издавать мои труды. Единственное спасение этих работ — немедленное, хотя и постепенное их издание здесь, в Калуге, под моим собственным наблюдением».

К. Э. Циолковский имел выдающиеся способности, необыкновенно проницательный взгляд на явления природы и техники, огромную силу воли и терпение.

Работы К. Э. Циолковского по ракетодинамике и теории межпланетных сообщений были *первыми строго научными изысканиями в мировой научно-технической литературе*. В этих исследованиях математические формулы и расчеты не затеняют глубоких и ясных идей, сформулированных оригинально и четко. Строгий и беспощадный судья — время — лишь выявляет и подчеркивает грандиозность замыслов, своеобразие творчества и высокую мудрость проникновения в сущность новых закономерностей и явлений природы, которые свойственны произведениям К. Э. Циолковского. Его труды по аэронавтике (реактивный аэроплан, скорый поезд на воздушной подушке), ракетодинамике и космонавтике помогают осуществлять новые дерзания советской науки и техники. Наша страна может гордиться своим знаменитым ученым, подлинным украшением человеческого рода, зачинателем новых направлений развития науки и техники.

Аркадий Александрович Космодемьянский

К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

Редактор Л. С. Мордовцева
Художественный редактор В. М. Прокофьев
Технические редакторы Г. Л. Татура
и М. И. Смирнова
Корректор Н. И. Новикова

ИБ № 3367

Сдано в набор 13.03.79. Подписано к печати 21.09.79. А03986. Формат 84×108 1/32. Бум. кн.-журн. Гарнит. школьная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,56. Уч.-изд. л. 7,27. Тираж 100 000 экз. Заказ № 300. Цена 20 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

20 коп.